

植物発育論 第10回 種子と発芽・休眠、成熟と老化

1. 種子

予習1. 種子の中には植物が発芽するために必要なものがすべて準備されている。どんなものが準備され、どういう用途に利用されるかを考えよ。

次代の植物のもとになる胚  
胚に与えられる栄養である胚乳  
それらを保護する種子

動物でもブラインシュリンプのように厳しい環境に長期に  
耐える卵を作るものもある  
ハスの種子は二千年以上、生き延びることができる

① 種子の構造

種子は ( **胚珠** ) が発達したものである。種子は植物の繁殖のためのものである一方、低温、高温、乾燥などの厳しい環境を乗り切るためのものでもある。種子には次代の植物のもととなる ( **胚** ), 胚に与えられる栄養である ( **胚乳** ), それらを保護する ( **種皮** ) からできている。胚にはすでに子葉, 胚軸, 幼根が分化している。胚乳には種々の養分が含まれる。しかし, 胚乳が退化し, 胚が養分を蓄積している植物も多い (マメ科植物など)。種子の貯蔵養分はエネルギーとして, あるいは酵素などのタンパク質などの材料として使われる。

有胚乳種子

**イネ科**

無胚乳種子

**マメ科**

図1 イネ (左) とダイズ (右) の胚珠 (上段) と種子 (中・下段) の縦断模式図  
1:柱頭, 2:果皮, 3:珠皮 (上段) → 種皮 (中, 下段), 4:胚囊, 5:維管束, 6:子葉, 7:幼根, 8:茎頂, 9:合点 (カラザ),  
10:へそ, 11:外穎, 12:内穎, 13,14:護穎, 15:小穂軸, 16:発芽孔, 17:臍条, E:胚乳, S:珠柄

② 1回結実性植物と多結実性植物

被子植物にはその一生で1回だけ種子を作ると枯れる1回結実性植物と何度も種子を作る多結実性植物がある。

1回結実性植物

**コムギ, ナタネ, イネ, ダイコン, テンサイ, ダイズ, ...**

多結実性植物

**リンゴ, アスパラガス, ブドウ, ...**

## 2. 1年生植物と多年生植物

### ① 1年生植物

1年生植物は生存に不適當な時期を種子によって乗り切る植物である。温帯の冬（1年生の夏作物であるトマトなど）、地中海性気候における乾燥し、高温な夏（コムギなどの冬作物）、熱帯における乾季（イネなど）を高い不良環境抵抗性を持つ種子によって乗り切る。

### 種子バーナリゼーション

図2 1年生植物であるコムギの一生.

図3 1年生植物の一生. 越冬1年生植物では春化によって花芽分化が可能となる.

### ② 2年生植物

1年目は栄養成長だけをし、2年目に種子を作る、すなわち2年かけて種子繁殖する植物を2年生植物という。ギャベツ、テンサイ、セロリ、ニンジンなどがそれに相当する。

図4 いろいろな2年生植物と1年目の貯蔵器官

図5 2年生植物の一生.

### ③ 多年生の1回結実性植物

数年以上栄養成長をして、十分な栄養を蓄積してから、開花・結実して、枯死する植物もある。リュウゼツラン、タケ、コンニャクなど。

④ 多年生草本植物 **サンプルを回覧する**

多年生草本植物にはイチゴのように地上部が枯死せずに栄養繁殖していくものもあるし、低温、高温、乾燥などの不良な環境の時期になると、植物体の一部（ふつう地上部）を枯死させ、残り（ふつう地下部）を休眠させて不良な環境の時期を乗り切る植物もある。地中にある栄養繁殖器官には地下茎（アスパラガス、スギナ）、塊茎（ジャガイモ）、塊根（ダリア）、球茎（グラジオラス）、鱗茎（チューリップ）などがある。種子繁殖も同時に行うことも多い。

⑤ 木本植物

木本植物には常緑樹と落葉樹がある。落葉樹は冬季や乾季に葉を落として、休眠する。ふつう自然には栄養繁殖はあまりしないが、挿し木、取り木、接ぎ木など人工的な栄養繁殖が可能である。 <sup>生</sup>

図6 温帯の落葉樹の生活史。年数は平均的なもの。

予習3. 人間が利用する植物（作物）には種子繁殖よりも栄養繁殖（球根、塊茎、塊根、地下茎など）するものも多い。このような栄養繁殖は植物にとってどんな利点があるのかを考えよ。

3. 種子繁殖と栄養繁殖

被子植物には種子による繁殖ばかりでなく、栄養器官（葉、茎、根）に養分を貯蔵させ、繁殖する（ **栄養** ）繁殖を行うものも多い。

種子繁殖の利点

- (1) 一度に多量の新しい個体を作ることが可能である
- (2) ( **遺伝子** ) を組み換えることによって ( **環境** ) の変化に対応できる

栄養繁殖の利点

- (1) 親植物と ( **同一の** ) 遺伝子型となるので、環境が安定しているならば、親植物の有利さを引き継ぐことができる。
- (2) 一般に栄養繁殖器官には多量の栄養が蓄積されているので、初期生育がすみやかである。
- (3) 農業上の利用としては栄養繁殖植物においては1個体でも育種目標にかなった個体を得られれば、増殖させて品種にできる。

夏のきわめて短い極地方や高山では ( **栄養繁殖** ) が多くなる。それは地下部に蓄えた養分で一気に成長できるからである。一方、洪水、干ばつなどが起こるために環境変化の激しいところでは種子繁殖して多くの個体を残す方が有利となる。

#### 4. 種子の発芽

##### ① 発芽 (germination) と出芽 (emergence)

( **発芽** ) 外観上は種子の中から芽や根が出現した状態を発芽という。ふつうは根が先に出現するが、湛水条件下にあるイネでは芽が先に出ることが多い。あるいは種子にある胚が活動を開始し、種子の中から芽や根を出現させるまでにいたる過程すべてを発芽という。

( **出芽** ) 土壌から地上へ芽が出現した状態を出芽という。出芽してはじめて光合成ができる。

予習2. 種子は発芽に適切な条件であっても発芽しない休眠状態にあることも多い。また、休眠から覚醒しても発芽に適切な条件に置かないと種子は発芽しない。

##### ② 休眠から覚醒した種子が発芽できる条件を列記せよ。

種子が発芽するためには( **水** ), 適切な( **温度** ), ( **酸素** ) が必要である。さらに種によっては( **変温** ), ( **光** ), ( **低温** ) などが発芽に必要な場合もある。

##### ③ 水 種子を水につけると物理的に吸水し、それを契機に種子は活動を始める。

図7 / **ダイズの種子の吸水**. 発芽しない種子も最初は生きていて種子と同じように吸水する。この吸水が**物理的な吸水**である。

図8 レタス種子の発芽にともなう、吸水、呼吸、およびヌクレオチド量の変化（縦軸の単位は省略）

種子の発芽過程を吸水から3つに分けることができる。第1期は主に物理的に吸水し、第2期になると吸水はほぼ止まり、代謝が進行する。第2期の終わりに種子は発芽（すなわち幼芽、幼根が出現）する。第3期には吸水が再び活発となり、芽や根が細胞分裂と伸長によって大きく成長し始める。

図9 種子の発芽過程とそれにもなう重要な現象を時間的に示したもの。

④ 温度

種子の発芽には適当な温度が必要である。夏作物は発芽に最適な温度が高く、冬作物では低いのが一般的である(表1)。

変温によって発芽が促進される種子(セロリ、カボチャ、トマトなど)もある(図10)。

表1 種々の種子における発芽温度範囲

変温で何を感知するのか?  
地表から近いのか、遠くて深いのか?

図10:セロリは10°Cで(80)%以上発芽するように低温で発芽する。

しかし、15°C以下の温度を一日の半分与える変温条件だと、32°Cという高温になる時間が半日あっても(80)%以上、発芽する。

一方、15°Cで一定だと、(35)%程度しか発芽しない。

図10 セロリの発芽に及ぼす変温効果。12時間交替で温度を変化させた。

⑤ 光

発芽に光を必要とする種子を(光発芽)種子といい、レタス、タバコ、クワ、シソなどが相当する。光よりも暗黒の方が発芽しやすい種子を(暗発芽)種子といい、ネギ、カボチャなどが相当する。イネ、トウモロコシ、ダイズなどは発芽に光は関与しない。

光発芽種子の発芽をもっとも促進するのは赤色光（波長 665nm 当たり）であり、もっとも抑制するのは遠赤色光（波長 730nm 当たり）である。レタスでは、それ以前に当たった光が何であれ、最後に赤色光が当たると発芽が促進され、遠赤色光が最後に当たると発芽が抑制される。

図 1 1 赤色光と遠赤色光を交互に照射したときのレタス種子の発芽率

図 1 2 レタスにおける波長と発芽の関係

**予習 2.** 種子は発芽に適切な条件であっても発芽しない休眠状態にあることも多い。また、休眠から覚醒しても発芽に適切な条件に置かないと種子は発芽しない。

① 種子が休眠する利点は何かを考えよ。

季節による気候条件の変化がみられる場所では植物は一年を通していつも生育に適した環境にいるわけではない。温帯における冬季の低温、地中海性気候における夏季の高温・乾燥、熱帯サバナ気候の乾季は植物の生育に不适当であり、植物は生長、発育を一時的に停止して、そのような不良環境に耐える。

ミジンコ, カイコ, ブラインシュリンプなど動物にも卵が休眠するものも多い

## 5. 休眠

① 休眠とは

成長に適した環境に置かれても、種子や球根や枝などの芽の成長が停止した状態を（**休眠**）という。越冬中の一時的な高温、乾季の降雨などで発芽してしまわないようにするなどの意義がある。作物の種子は基本的には休眠性を少なくする方向で選抜されてきたが、コムギの穂発芽防止など休眠性にも意義がある場合もある。

② 休眠の種類とその機構

表 2 種子休眠の分類（発芽生物学 p18 から省略，一部補足して引用）

種子の休眠の機構には種皮が不透水性のために発芽しない（**硬実**）によるもの、種子内部に（**発芽抑制物質**）を含むもの、胚が未熟であるもの、低温や光要求性のあるものなどがある。

**硬実** マメ科，アサガオなどの種子では，傷をつけたり，薬品で処理したりすると発芽する．自然界で発芽するには徐々に種皮が劣化して水が通るようになる必要がある．何年にも分けて発芽するようになるので，全滅を防ぐことができる．

**発芽抑制物質** 多くの種子で，アブシジン酸は発芽抑制物質として働き，ジベレリンは発芽を促進する．コムギでは赤色種皮が穂発芽の抑制に関与していると考えられている．赤色種子に含まれるカテキン・タンニン様物質によると考えられている．

### ③ 芽の休眠

ジャガイモやブドウの芽の休眠

**ジャガイモ: 貯蔵するには休眠が深い方がよいが，栽培するには休眠からさめている必要がある(浴光催芽)**

**ブドウ: 加温による促成栽培では休眠打破のために薬剤散布をする**

## 6. 成熟と老化

1回結実性植物では結実する過程で個体全体が老化し，枯死する．多年生草本植物の多くは地上部が冬や乾季になる前に老化・枯死する．落葉性樹木では葉が枯死する．老化過程で多くの物質（窒素，リンその他）を回収していく．

### ① 個葉の老化

図12 老化の形式

図13，14：葉が老化し始めると**クロロフィルやタンパク質を分解し**，それを別の部位で利用するか，蓄積するために転流する．そのとき分解するために必要なエネルギーを作るために**呼吸**が一時的に増加する．

図13 シソの葉の伸長期から脱離にいたるまでのタンパク質とクロロフィル量の変化

図14 シソの葉の葉の展開終了後から脱離までの光合成速度と呼吸速度

② 植物ホルモンと老化

図15: 老化に関連したホルモンとして老化を抑制する方向に働く( **サイトカイニン** ) と老化を進める方に働く( **アブシジン酸** ) がある。



図15 老化期における植物ホルモン作用.  
下線のホルモンは老化抑制作用を示す。

図16: 温帯の果樹では冬が近づくとつれてアブシジン酸が増加し、休眠体制に入る。そのとき葉は老化して、枯死する。

図16 温帯の果樹における植物ホルモンの年変動

図17: 植物は落葉させるために( **離層** ) という繊維を欠く特別な細胞を分化させる。

図17 双子葉植物の葉柄基部にみられる離層の縦断面図

さらに植物における発芽, 休眠, 老化について基礎的なことを学びたい人は

植物の休眠と発芽 藤伊 正 東京大学出版会

発芽生物学 種生物学会編 文一総合出版

植物生理学大要 田口亮平 養賢堂 3章 種子の発芽 P49~67, 11章 植物の成長・発育の周期 P310~333

作物—その形態と機能—上巻 農業技術協会 第1編 作物の種子 P2~57

作物の生態生理 文永堂 1章 発芽と種子 P1~52

植物の成長と分化 下巻 学会出版センター 11 休眠, 12 老化と脱離 P371~425

植物の生理 放送大学教材 8章 植物の生育(1)—生活環とホルモン調節 P115~131



小テスト (5分) (学生番号)

(氏名)

1. 次の ( ) を適当な語句で埋め, { } は適切な語句を選べ.

① コムギは1回結実性植物であり, 1年以内で一生を終える (  ) 年生植物でもある. 同じ1回結実性植物でもキャベツは1年目では栄養成長だけを行い, 2年目に種子を作る (  ) 年生植物である.

② 種子が発芽するためには (  ), (  ), (  ) が必要である. 種子によっては (  ), (  ), 低温なども必要なことがある.

③ 成長に適した環境に置かれても, 種子や球根や枝などの芽の成長が停止した状態を { 発芽 ・ 老化 ・  } という.

2. 次の文章のうち, 栄養繁殖の利点に相当するものを選び, ( ) に○を入れよ.

( ) 一度に大量の個体を作ることができる

(  ) 初期生育がすみやかである

( ) 遺伝子を組み換えることによって環境の変化に対応できる

(  ) 親植物と同じ遺伝子型となり, 環境が安定しているなら親植物の有利さを引き継げる

2. 授業に対する意見・感想・要望などがあれば書いてください.

次回の予習課題 (学生番号)

(氏名)

予習課題は正解かどうかは採点しません。自分でじっくり考えて書いていけば内容が間違っていたとしてもかまいません。

ホームページ (<http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/food/kobayasi/sub7.html>) も参考にしてください。

1. 人間の一生には大きな節目がいくつかあるように植物の一生にも大きな節目と考えることができる段階 (発育段階) がある。

① 植物の一生にとって重要な節目 (発育段階) について思いつくものを列挙せよ。

② 人間の一生の大きな節目には年齢を重ねると自動的に迎えるもの (七五三, 小学校入学) もあれば, 一定の条件を満たさないと迎えられないもの (大学卒業, 就職) もある。①で列挙したものの中から, 植物において一定の条件を満たさないと迎えられない発育段階とどのような条件を満たしたらその発育段階を迎えることができるかを説明せよ。

2. 植物は環境に対する反応をグラフにして表すことは, 量的に記述するための第一歩である。代表的なグラフのパターン3つ (A, B, C) を以下に示した。それにA, B, Cにあてはまる, 環境に対する植物の反応を考えてみよ (例: 気温と光合成)。

