

植物発育論 第9回 花成と環境

1. 花の咲く時期を決める環境要因は何だろうか？

予習1. 一年に決まった時期に花を咲かせる植物が一般的である。本やインターネットなどは使わないで、以下の季節に咲く花を、自分の思いつくものからいくつか列挙せよ。

① 春に咲く花, 夏に咲く花, 秋に咲く花 (花ごよみを作る)

春に咲く花

タンポポ, サクラソウ, サクラ, ウメ, サツキ, ツツジ, スミレ, エンドウ, ソラマメ, コムギ, イチゴ, バラ, ナズナ, ダイコン, ナタネ, ボタン, シヤクヤク, アヤメ, スイセン, チューリップ

夏に咲く花

ヒマワリ, スイカ, メロン, キュウリ, ゴマ, ナス, トマト, ラベンダー, アサガオ, セリ, アジサイ, サルスベリ, ホウセンカ, ラッカセイ, インゲンマメ, ハス, テッポウユリ, グラジオラス, イネ

秋に咲く花

キク, コスモス, セイタカアワダチソウ, ススキ, キンモクセイ, サザンカ, ミヤギノハギ, ビワ, ソバ, ヒガンバナ, エノコログサ, オミナエシ

② なぜ花は毎年同じ時期に咲くのだろうか？

“how” 至近要因

日長, 気温を感じ取る

植物は周りの環境をどう読み取って開花時期を決定するのか？

“why” 究極要因 (function, adaptation)

冬: 虫媒できない, 秋: 実が実るだけの温度がない

例えば, サクラが春に開花するのはどういう利点があるからか？

花はなぜ決まった時期に咲くのか

一斉に咲くことは受粉効率を高める

ブナ 数年おきに一斉に開花する (季節的には5月ごろ)

東南アジア熱帯雨林 数年おきに一斉に開花する (1年のいつかも定まっていない)

30日間の積算降水量が少なくなったときに一斉開花が起きている

一斉開花にはどんな利点があるのだろうか？

仮説1 昆虫によって散布される花粉の送粉効率を高める

仮説2 食べきれないくらいの果実をつける

仮説3 過去の記憶 かつては乾季に開花していた

③ 植物は周りの自然環境から何を感じ取っているか？

予習2. 植物が毎年, 同じ季節に咲くようにするために周りの自然環境から感じ取っている環境要因を列記した以下のリストの各項目について, 重要だと考える要因を3つまで◎, 関係すると思われる要因には○, 関係しないと思われる要因には×を () に入れよ。

- (◎) 気温 () 湿度 (◎) 光の波長 () 光の強さ・明るさ
() 風速 () 風向 () 昼の長さ (◎) 夜の長さ
() 土壌養分 () 土壌水分 () 雨 () 土壌 pH
() 雑草 () 病原菌 () 害虫 () 二酸化炭素

予習3. 1. で自分があげた花 (季節はどれでもよい) から1つを選び, 2. で◎をあげた環境要因を使ってどのような仕組みで花が決まった季節に咲くのかを具体的に述べよ.

選んだ花 () と咲く季節 ()

④ 3つの主要な開花時期を制御する仕組み

(**光周性**) 明期または暗期の長さの変化, すなわち光周期の変化によって引き起こされる生体の反応

(**低温要求性**) 一定期間, 低温に遭わないと発育が進まない場合, 発育を進めるために必要な低温の程度を低温要求性といい, 低温を与え, 花芽誘導可能な状態にすることを (**春化**) という

(**温度**) 光周性と低温要求性の影響を除けば, 植物の発育は一般に温度が (低い ・ 一定な ・ **高い**) ほど進む

2. 開花時期を決定する環境要因

① 光周性 (photoperiodism) **光周性は開花だけでなく, 落葉, 塊茎・鱗茎形成などにもかかわる**

(**長日**) 植物 限界 (明期 ・ **暗期**) より長い継続した (明期 ・ **暗期**) を含む光周期を与えられると花芽形成しない, あるいは花芽形成が抑制される植物. したがって, (**明期** ・ 暗期) が長いと花芽形成する.

(**短日**) 植物 ある一定期間より長い継続した (明期 ・ **暗期**) を含む光周期を与えられるとき, 花芽形成するあるいは花芽形成が促進される植物. 長日植物と逆の性質があり, (**明期** ・ 暗期) が短いと花芽形成する.

中日 (性) 植物 日照時間あるいは暗期の長さに関係なく花芽形成をする植物.

(**限界**) 日長 それより長いあるいは短い日長では花芽形成しない, その日長. 条件的光周植物では明確な限界日長はみられない

以下のグラフから限界日長を読み取っていく

絶対的光周植物 花芽形成に不適當な日長条件では決して花芽形成しない植物

条件的光周植物 花芽形成に不適當な日長条件でもいずれは花芽形成できる植物

図1: カラシは日長が (12) 時間以下では花成が誘導されない。したがって、カラシは (長日) 植物である。一方、アサガオは日長が (15) 時間以上では花成が誘導されないから、(短日) 植物である。カラシの限界日長は約 (12) 時間、アサガオの限界日長は約 (15) 時間である。

図1 1日の明期の長さ(日長, 昼の長さ)に依存した典型的な短日植物と長日植物の花成反応

図2: キクは (短日) 植物であり、上の場合、限界日長は約 (13) 時間である。

そのほかの短日植物である作物としては、

イネ, ダイズ, コスモスなど

短日植物は温帯産の秋に咲く植物に多い。雨季と乾季の別のある熱帯産のものもある(例: イネ)。

図1 1日の明期の長さ(日長, 昼の長さ)に依存した典型的な短日植物と長日植物の花成反応

図3: ヒヨスは (長日) 植物であり、上の場合、限界日長は約 (11) 時間である。

そのほかの長日植物である作物としては、

コムギ, ホウレンソウ, ナタネなど

長日植物は温帯産の春に咲く植物に多い。長日植物には後述する春化された後でないとも長日の効果が現れない植物も多い。

ヒヨス 薬用植物である。しかし、幻覚症状を起こし、毒性が強い。

花芽形成に要する長日回数

アサガオを大きくしても花を咲かせない、あるいはすぐに咲かせることもできる

植物は昼(明期)の長さではなく、夜(暗期)の長さに反応する。

図3 ヒヨスにおける日長反応

光を感じ取る器官は葉であり、色素であるフィトクロームという色素が関与している。

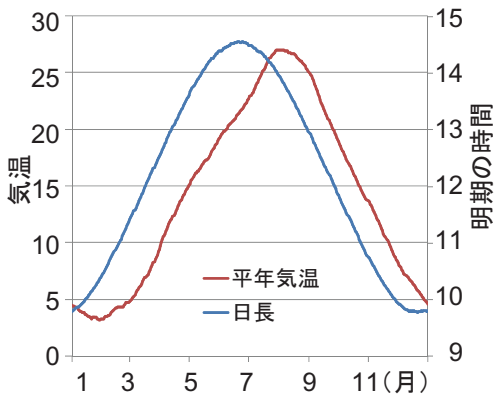
光中断

図4 日長反応と暗期の長さ

② 低温要求性と春化 (vernalization)

秋に発芽し、春に開花する植物の場合、秋と春の日長はほぼ同じであるから、秋の長日条件に反応して開花しないように、一度、冬の低温を受けてから、春になり、限界日長以上の長日条件になると開花するようになっているものが多い。冬季の低温によって花芽分化できる状態になることを (**春化**) という。

春化しても花芽ができるわけではない



松江の日長と気温

図5 松江における1年の日長と気温

図6 ヒヨスは長日植物であるが、低温に遭遇してからでないと、長日の効果は現れない

春化の適温と必要な期間

図7: ダイコンの場合、(**5**) °Cのときにもっとも着花率が高くなった。すなわち春化の効果が高かった。ムギ類でも (**0**) ~ (**5**) °Cの低温が春化にもっとも効果的である。

図8: *Lolium* 属の数種の作物について 4°Cで春化したときのその春化処理の期間が長くなるほど開花までの日数はおおむね短くなった。*L. temulentum* には低温要求性はなく、*L. multiflorum* は低温要求性は小さいことがわかる。

図7 吸水させたダイコン種子を低温条件に置いた場合の着花率

4°Cの期間(週)
図8 *Lolium* 属の春化反応。

低温を感じる発育段階

（ **種子** ）バーナリゼーション

吸水した種子の段階ですすでに低温に反応することができるもの ムギ類，ダイコン，ホウレンソウ。

図9：ダイコンでは種子に吸水させてから（ **2** ）日目が，もっとも春化の効果が高い。

（ **緑植物** ）バーナリゼーション

ある程度成長してから低温に反応することができるようになるもの タマネギ，キャベツ，セロリ。

図10：セロリでは発芽後，（ **50** ）日以上しないと春化されない。

図9 ダイコンの春化

図10 セロリにおける春化处理開始時の苗
齢と花芽誘導に必要な低温期間

③ 温度

イネは本来，短日植物である（図11）。しかし，北海道や東北のような寒冷地あるいは熱帯の乾季においては日長にほとんど反応しない品種（ユーカラ，IR8 など）が栽培される。このような日長にほとんど反応しない品種でも温度が高いと開花までの日数は短縮される（図12）。すなわち光周性と低温要求性の影響を除くと，植物は一般に温度が高い方が開花が早くなる。

図12 非感光性のイネにおける開花までの日数と温度の関係

図11 イネにおける日長反応の品種間差異。灰色の部分はフィリピン，ロスバニョスにおける日長。Siam 29の波線部分は開花しなかったことを示す。

3. 開花時期はいつがよいのか？

① 自然環境

イネの光周性

北緯10度では一年の日長の違いは（約1）時間しかない（図13）。そのような熱帯のイネでも短日に反応して、播種から開花までの日数が変化する。

北緯2°のマレーシアのマラッカでは最長と最短の日長の日の長さの差はわずか14分である。しかしSiam 29という品種はこの差を感知し、1月に植えると329日も開花に要するのに対し、9月に植えるとわずか161日で開花する

図13 各緯度（北緯）における日長の変化

タイ中部では（5）月中旬に南西モンスーンが到来し、雨季が始める。一方、雨季の終了は10月終わりごろである。しかし、雨季の開始は年によって大きく変動する（図14、15）。

図14 南西モンスーンの開始時期（左）と終了時期（右）。ほぼ雨季の開始と終了時期に相当する。

水稻の移植（田植え）のときには、十分な水が必要となるから雨季が始まるまでは田植えをできない。一方、収穫時期には雨が降らなくなっていることが作業および乾燥の上でも必要である。しかし、あまり早く乾期に入れば減収する。

図15 タイ、バンコクにおける月平均気温、降水量

灌漑設備のない伝統的な東南アジアの稲作では、雨季が遅れても収穫が乾期の始めの11~12月になるような短日によく反応する品種を栽培することが多い。図16：カンボジアでは雨季の開始を待って、6~9月に田植えをする。感光性の強い品種であれば播種が遅れても、（11）月に決まって出穂する。

図16 カンボジア、バタンバンにおける日長と水稻（品種 Neang Meas）の出穂期の関係

★ イネはいつ開花すると収量が最も多くなるのか？

雨季と乾季があり、天水田（灌漑設備のない水田、したがって水は雨だけである）がほとんどであるインド、ハイデラバードではイネの収量は移植から開花までの日数に強く支配される。開花までの日数が短いと、十分に栄養成長できず、葉面積や茎数の不足で収量が低い。一方、開花までの日数が長すぎると生育の終わりに雨季が終わり、干ばつを受けるおそれがある。したがって、図17の場合、開花までの日数が90~110日の範囲内である品種が多収となる。

図17 インド、ハイデラバードの天水田におけるイネ品種の開花までの日数と収量の関係

雑草の適応性 (図18)

ハコベは中日植物であり、日長にかかわらず、ある程度の大きさに成長したら開花・結実する。一方、シロザは短日植物であり、8月にならないと開花しない。それぞれの雑草はどのような環境条件に適しているだろうか？

人が頻繁に耕す畑 (ハコベ・シロザ)
人が管理しない空き地 (ハコベ・シロザ)

ハコベ 野菜畑のように頻繁に除草するところ
シロザ 線路脇のようにあまり除草しないところ

シロザの方が大きく成長できるので、ふつうは有利である。例えば、空き地、河原など雑草を抜こうとする人がいないところではシロザが大きく育ち、たくさんの種子を残せる。一方、頻繁に耕耘される、除草されるなど短期間のうちに開花・結実しないと繁殖できない環境(畑など)ではハコベのように少しでも種子を確実に残す方が有利だろう

草丈 (cm)
草丈 (cm)

図18 ハコベおよびシロザにおける出芽時期と伸長成長、開花・結実期の関係

予習4. 次の作物のもともとの旬・収穫期はいつかを書け。

いちご (5月) ぶどう (9, 10月)

② 光周性、低温要求性を利用した栽培技術

光周性、低温要求性、温度は花成以外にも発芽、紅葉、休眠など多くの植物の発育現象に関与している。光周性、低温要求性を利用して、作物を人間の必要なときに開花、結実させる技術が実用化されている。

★ 電照栽培のキク (短日植物のキクは光中断による長日条件で開花を遅らせることができる)

図19: 菊の花を周年供給できるようにキクには多数の栽培型が成立している。

図19 キクの周年栽培

キクには短日条件に反応するタイプやそうでないタイプなどさまざまあり、それらを使い分けることによって一年中キクの花を生産することができる。

表1 キクの栽培型と環境の関係

★ イチゴの作型 (露地栽培のイチゴは短日条件で花芽分化し, 低温条件によって, 花芽休眠が打破される): 図20

元来, イチゴは秋の短日条件で花芽を分化させ, 冬の低温を過ごしてから, 花芽が成長し, 初夏になって果実を収穫する作物だった. 低温要求性を株を低温条件に置く (山地へ持って行く, 冷蔵するなど) で秋のうちに満たし, それからハウスで加温することによってクリスマスや早春にイチゴが食べられるようになった.

イチゴは1960年では5月にほとんど出荷されたが, 次第に出荷が早くなっていった

四季なり性 (長日でむしろ開花促進する) ものもある. サマーベリーという品種で7月以降に出荷される

8~13.5時間の短日で花芽形成, 日長が11時間以下, 13°C以下になると休眠, 5~8°C以下の低温をある程度受けると休眠が打破される. 分化した花芽の発育は長日・高温でさかんになる.

図20 イチゴの作型

休眠を早く起こさせるために山上げ育苗 (栃木県, 宮城県), 現在は冷蔵庫 (夜冷育苗) を使うことも多い
この結果, クリスマスシーズンに確実にイチゴを出荷できるようになった

電照 矮化防止, 長日による休眠打破

図21 イチゴの花芽形成と温度・日長との関係

さらに花成について学びたい人は

農業に関する参考図書 (花成をどのように作物の栽培に活用しているかを詳しく知りたい人)

食糧生産の生態学 農林統計協会 第5章 P148~180

稲作科学の基礎 博友社 P46~55 にイネの開花時期に及ぼす日長と温度の関係が説明されている

作物の生態生理 文永堂 V 花芽の形成, 発育 P221~268

植物の生長と発育 養賢堂 VII 開花 P108~154

植物生理学に関する参考図書 (花成のメカニズムをより詳しく知りたい人)

植物生理学 シュプリンガーフェアラーク 第25章 P411~424

植物生理学 増田芳雄 培風館 3.6 生殖成長 P97~107

植物の生化学・分子生物学 学会出版センター 19章 P901~909

花ごよみ 花時計 滝本敦著 中央公論社 花成研究の第一人者によるエッセー

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 植物の開花時期を制御する仕組みは大きく 3 つ挙げられ, (**光周性**), (**低温要求性**), (**温度**) である.

② 植物における光周性では, 植物は { 明期の長さ ・ **暗期の長さ** ・ 光中断の頻度 } を感知している.

③ 春に開花する長日植物には, 冬の低温に遭わないと長日条件に反応しない植物がある. 冬季の低温によって花芽分化できる状態になることを (**春化**) という.

2. 次のグラフをみて, () を適当な数字で埋め, { } は適切な語句を選べ.

右の図は明期 (昼) の長さを 16 時間 (○) あるいは 4 時間 (●) に保ち, 暗期の長さを 4 時間から 20 時間の間で変化させたときのダイズの花芽形成の効果を示したものである.

暗期が長くなるとダイズは花芽がつくようになったことから, ダイズは { 長日植物 ・ 中日植物 ・ **短日植物** } であることがわ

かる. この場合, 限界日長はおおよそ (**14**) 時間である. この実験から光周性に関与するのは明期の長さよりも暗期の長さであることがわかる.

グラフの横軸は暗期の長さなので, 限界日長は 24時間-暗期の長さになる

3. 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. 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。

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。

② 休眠から覚醒した種子が発芽できる条件を列記せよ。

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。