

「植物生理学」練習問題解答例 1 章

（問 1）陸上植物は車軸藻植物のなかでも、接合藻類やコレオケーテ類、シャジクモ藻類に近い種から進化したと考えられている。その根拠を説明しなさい。

- 1 ①ロゼット型のセルロース合成酵素複合体をもつ、②細胞板形成による細胞質分裂を行う、③原形質連絡をもつといった共通の特徴をもつから。さらに、近年の分子系統解析の結果からも支持されている。

（問 2）陸上植物が進化の過程で獲得した器官を 4 つ挙げなさい。

- 2 気孔、維管束、種子、花、根、葉 のうちから 4 つ

「植物生理学」練習問題解答例 2 章

(問 1) 茎および根の組織構造および組織を構成する細胞の種類についてまとめなさい。

- 1 茎および根はどちらも表皮組織、基本組織および維管束組織からなる。表皮組織の大部分は表皮細胞によって占められている。根に存在する根毛も、表皮組織の細胞である。基本組織は、内皮細胞や内鞘細胞、厚角細胞、繊維細胞などで構成される。一方、維管束組織を構成する細胞には、道管要素、仮道管、篩管要素、伴細胞、木部柔細胞、木部繊維細胞、師部柔細胞、師部繊維細胞などがある。

(問 2) 植物細胞の特徴について、動物との違いについて焦点をあててまとめなさい。

- 2 植物細胞が動物細胞と大きく異なる点として、プラスチド、液胞および細胞壁の存在があげられる。プラスチドは葉緑体を含む一群のオルガネラで、動物細胞には存在しない。とくに、葉緑体は光合成の中心的役割を担っており、独立栄養生物という植物の最大の特徴に不可欠な存在である。液胞も、動物細胞にはない特徴である。消化器官をもたない植物は、代わりに個々の細胞の液胞に水やイオン、糖、アミノ酸などさまざまな物質を貯蔵し、必要な時に取り出して使っている。植物は動物の骨のような支持組織をもたないが、代わりに液胞が吸水することによって生じる膨圧と細胞の周りを取り囲んでいる強固な細胞壁の組み合わせによって植物体を支えている。細胞壁にはところどころに細胞質連絡が通る穴がある。動物細胞とは異なり、植物は、一つ一つの細胞が独立しているが、細胞が細胞質連絡でまわりの細胞とつながることで一体化している。

「植物生理学」練習問題解答例 3章

(問1) 植物の遺伝子組換え法についてまとめなさい。

- ① 現在もっともよく用いられているのは、リゾビウム・ラジオバクターを用いて遺伝子を組換えアグロバクテリア法である。この方法では、まずリゾビウム・ラジオバクターのTiプラスミドに外来遺伝子を組換える。このリゾビウムを植物に感染させることで、外来遺伝子がゲノムに挿入した遺伝子組換え植物を作製する。単子葉植物やマメ科植物などリゾビウム・ラジオバクターが感染しない植物には、この方法が使えない。そのような植物に対して外来遺伝子を導入する手法として、(1) ポリエチレングリコール(PEG)法、(2) エレクトロポレーション法、(3) パーティクルガン法などがある。これらの手法で新たな形質転換体を作成するためには、多くの場合遺伝子が組換えられた細胞から新しい植物体を再生させる技術も必要となる。

(問2) ある植物が遺伝子組換えによって作出されたものかどうかを検証するにはどのような実験方法があるかを、調べてまとめなさい。

- ② 組換えられた遺伝子の塩基配列が既知の場合、その遺伝子の塩基配列情報から、PCR法によって遺伝子の存在を確認する。遺伝子組換えに上記Tiプラスミドが利用されている場合には、Tiプラスミドがもつ配列情報を利用したPCRを行うことも考えられる。

(問3) 「青いバラ」と普通のバラはどこが違うのか、それはどのような遺伝子を導入することによって作出されたのかを、調べてまとめなさい。

- ③ バラの花の色を決めるアントシアニンの発色団はシアニジンで、通常は赤色をしている。多くの青い花に含まれるデルフィニジンという成分を、バラは合成できない。そこで、デルフィニジンを作るために必要な酵素の遺伝子(フラボノイド3',5'-ハイドロキシラーゼ)をバラに導入することにより、バラの花びらでデルフィニジンを蓄積させることに成功した。

「植物生理学」練習問題解答例 4 章

(問 1) 「流動モザイクモデル」を説明しなさい。

- ① 生体膜の基本構造を説明するモデル。生体膜はリン脂質が向かい合う二重層からなり、親水性の部分を外側に向け、疎水性部分を内側に挟み込むように向い合う。この膜には、タンパク質分子が生体膜内に、貫通したり、表面に付着したり、あるいは内部に埋め込まれるようにモザイク状に入り混じって存在する。これらの生体膜を構成するリン脂質やタンパク質がともに流動性をもちつつ、生体膜自体はその基本構造を維持するという考え方。

(問 2) 「二次能動輸送」を「ATPase」という語を用いて説明しなさい。

- ② ATP を加水分解した際に生じるエネルギーを利用して物質輸送を行うことを一次能動輸送(または一次輸送)という。 Na^+/K^+ ATPase や H^+/K^+ ATPase、 Ca^{2+} ATPase などと輸送する物質と組み合わせられて名付けられる。二次能動輸送は、一次能動輸送により生じたこれらのイオンの濃度勾配を利用して、目的の物質を輸送する物質輸送のことである。輸送のタイプとして、一次能動輸送により生じたイオンの濃度勾配を解消するのと同じ方向で目的物質を輸送する共輸送と、それとは逆の方向で輸送する対向輸送に大別される。

(問 3) 生体膜を挟んで移動することができる物質 X が、一定時間後に「平衡状態」にある場合、この状態を「電位化学ポテンシャル勾配」という語を用いて説明しなさい。

- ③ 膜を挟んで物質 X の電位化学ポテンシャル勾配がなくなりゼロとなった状態を「平衡状態」という。平衡状態であっても、実際には物質 X は膜を挟んで移動はしているが、膜を挟んだ両方に同程度に移動するため見かけ上の行き来がないように見える。

(問 4) 「原形質分離」が起こるメカニズムを説明しなさい。

- ④ 細胞膜は半透性を示し、水分子を通す。細胞外の浸透圧が細胞内の浸透圧よりも高い場合、細胞内から細胞外へ水が出て、細胞膜に覆われた原形質部分は、この浸透圧差がなくなるまで収縮する。この時、細胞壁は変形しにくいので、原形質のみが収縮し、細胞膜は細胞壁から分離する。この状態を「原形質分離」という。

「植物生理学」練習問題解答例 5 章

(問 1) ATP や NAD とデンプンではエネルギー代謝で果たす役割が違う。その違いをまとめなさい。

- ① ATP などの分子はさまざまな化学反応に直接利用できるエネルギーをさまざまな分子へ運ぶ、エネルギー通貨としての役割を果たしている。ATP は生物体内に広く分布しているが、その生体内の濃度は低く、蓄えるエネルギーの総量はわずかである。これに対して、糖などの分子は単純であり、エネルギーを長期間安定して蓄えておくことができる。なかでも、デンプンは水に不溶性で浸透圧に影響を与えることなく細胞内に大量に貯蔵することが可能である。

(問 2) 呼吸を構成する「解糖系」、「TCA 回路」、「電子伝達系」が局在する場所とそれぞれの反応系間の物質移動をまとめなさい。

- ② 「解糖系」で利用されるさまざまな物質は、トランスポーターにより細胞質基質へ運ばれ、そこに局在する解糖系で最終的に 2 分子のピルビン酸に分解される。生じたピルビン酸は、ミトコンドリア外膜を透過した後、内膜にあるピルビン酸輸送体によって、選択的にマトリックスへと移動し、そこに局在する「TCA 回路」で酸化されて水と CO_2 になる。解糖系や TCA 回路で生じた NADH_2 や FADH_2 は、ミトコンドリア内膜に局在する「電子伝達系」で電気化学ポテンシャルの形成に使われる。

(問 3) TCA 回路の中間代謝産物のなかには、他の代謝経路の中間代謝産物と共通の物質が少なくない。これらの物質はどのような役割を果たしているか、具体的な例を挙げてまとめなさい。

- ③ リンゴ酸は細胞質基質の解糖系の基質としても、TCA 回路の基質としても利用できる。他の反応と相互に利用可能な中間代謝産物の多い TCA 回路は「中間代謝産物のるつぼ (melting pot)」と称される。さまざまな中間代謝産物は、TCA 回路以外の他の反応でもさかんに利用される。

(問 4) 動物細胞には認められない植物細胞特有の電子伝達経路をまとめ、そうした代謝経路が存在する意義を考察しなさい。

- ④ ミトコンドリアとプラスチドが共存する植物細胞では、動物細胞には認められない付加的な電子伝達経路も存在する。ロテノン非感受性脱水素反応では、ミトコンドリア内膜の膜間腔側とマトリックス側の両方に、 NADH_2 や NADPH_2 を脱水素し e^- をユビキノンに伝えることができる。シアン化合物 (CN^-) で複合体 IV が阻害された状態でも O_2 が消費されるシアン耐性呼吸では、シアン非感受性末端オキシダーゼ (alternative oxidase: AOX) を介した呼吸経路が明らかになっている。植物の呼吸全体の 10~25% にのぼるシアン耐性呼吸は、過剰なエネルギーの排出経路であるとも考えられているが、不明な点が多い。

「植物生理学」練習問題解答例 6 章

(問 1) 高等植物の光合成では、2つの光化学系が直列に並んで反応することが知られている。それを明らかにした実験的根拠をまとめなさい。

- ① 実験により、量子収率 ϕ を波長の関数で表した作用スペクトル (action spectrum) は400~680nmの範囲で高い値を維持するが、680~700nmで急激に低下する (Red drop 現象)。さらに、この量子収率の低下は650nmの光を当てると回復する (Emerson 効果) ことが示された。P S IIは680nmより長波長の光では駆動せず、P S Iは680nmより長波長の光を優先的に吸収する。このため、680nmより長波長の光を光合成系に当てると、P S Iしか駆動せず、光化学系全体の e^- の流れが遅くなり量子収率が低下する。これに650nmの単色光を当てるとP S IIも駆動され、量子収率が回復し、2つの単色光の合計以上に光合成速度が上昇する増幅効果が原因であった。これらの実験は、チラコイド膜に存在する2つの光化学系の存在を明らかにするきっかけとなった。

(問 2) 光合成は、いまだ進化の途上にある反応系と考えられる。陸上植物の行う光合成系が、陸上環境に十分に適応できていない点は何のようなものかをまとめなさい。

- ② 陸植物の光合成系は水棲生物であるシアノバクテリアの一種に由来する。光合成系が出現した当時、高濃度で存在したCO₂は、光合成生物の繁栄とともに減少し、現在では相対的に低い濃度となっている。これと対応して空気中の酸素濃度は21%にもなった。陸上では乏しいH₂Oを有効に利用しなければならないが、低濃度のCO₂を吸収するために開けた気孔からの蒸散で、H₂Oの大部分を失っている。また、低濃度のCO₂環境下では、RuBisCOのオキシゲナーゼ活性による炭酸同化の拮抗阻害が生ずる。植物は、C₄炭素回路やベンケイソウ型有機酸代謝 (CAM)、光呼吸回路などの代謝系で対応しているが、エネルギー効率などの点で厳しい環境を完全に克服しているとはいえない。

(問 3) ミトコンドリアでATPを合成する酸化的リン酸化の過程と、葉緑体でATPを合成する光リン酸化の過程とを比較して、共通する点と異なる点をまとめなさい。

- ③ ミトコンドリア内膜に存在するF₀F₁-ATP合成酵素もチラコイド膜に存在するCF₀-CF₁ (ATP合成酵素) も電気化学ポテンシャル勾配を利用してATP合成を行う。F₀F₁-ATP合成酵素のF₁サブユニットもCF₀-CF₁ (ATP合成酵素) のCF₁サブユニットも、表在性の膜タンパク質複合体で、ATP合成の触媒部位をもつ。これに対して、F₀サブユニットもCF₀サブユニットも内在性の膜タンパク質複合体で、H⁺が内膜を透過する際のチャンネルを形成している。約4分子のH⁺がATP合成酵素を通して移動する際に、1分子のATPが合成されることが明らかにされている。非常に類した構造をもつ酵素であるが、ミトコンドリア内膜と葉緑体のチラコイド膜を挟んだ酵素の方向が逆であり、F₀F₁-ATP合成酵素では外部から内部へ、CF₀-CF₁ (ATP合成酵素) では内部から外部へH⁺が移動する。

「植物生理学」練習問題解答例 7 章

(問 1) ヒトが生きていくうえで必要とされる必須元素について調べ、植物との違いをまとめなさい。

- ① ヒトの必須元素には、まだ確定されていない面もあるが、現在多量元素として ― 水素H, 炭素C, 窒素N, 酸素O, ナトリウムNa, カリウムK, リンP, カルシウムCa, マグネシウムMg, 硫黄S, 塩素Cl ―, 微量元素として ― 鉄Fe, 亜鉛Zn, マンガンMn, 銅Cu, ヨウ素I, セレンSe, クロムCr, モリブデンMo, コバルトCo ― は、その体内における機能が明らかになっている。そのほかに、ニッケルNi, ホウ素Bなども必須性が示唆されているが、その詳細な機能は明らかになっていない。

植物との何よりも大きな違いは、Naの必須性である。また、植物では、セレンSe, クロムCr, コバルトCoは、種によって必須性が異なることが知られている。逆にホウ素Bは、植物ではきわめて必須性が高いが、ヒトでは高濃度のときに毒性があるが、その有用性ははっきりしていない。

(問 2) 農業に必要な肥料の三大栄養素はN（窒素）, P（リン）, K（カリウム）とされている。なぜこの3つの元素が肥料として重要なのかをまとめなさい。

- ② タンパク質や核酸の構成元素であるN（窒素）, 核酸や脂質の構成要素であるP（リン）, および細胞質の無機環境の維持に必須のK（カリウム）は、いずれも植物の生育にとって大量に必要となる。これらの元素の土壌含有量はそれほど高くないため、農業のような植物の速い生育を必要とする場合、土壌からの供給が間に合わないことが多い。そのため、肥料としてこれらの元素を大量に与える必要がある。

「植物生理学」練習問題解答例 8章

(問1) 植物個体において長距離輸送をつかさどる道管と篩管が、それぞれ物質を輸送する機構について説明しなさい。

- ① 道管における物質輸送は、道管中の連続した水柱が、地下部中心柱道管末端部（実際には土中と考えてもよい）と地上部維管束末端（最終的には気孔開口部）における水の化学ポテンシャル勾配によって駆動される体積流（蒸散流）と、極細の道管中の水分子の凝集力にもとづく毛細管現象によると考えられる。ただし、根においては、木部柔細胞からのエネルギー依存のイオン放出にともなう水の道管内への浸透的流入が圧力を作りだし、それが道管中の水柱を押し上げることも知られている（根圧）。

篩管においては、輸送物質の積み込み部において生じる篩部内外の水の化学ポテンシャル勾配が篩部への水の流入を促し、一方で輸送物質の積み降ろし部において生じる篩部内外の水の化学ポテンシャル勾配が篩部からの水の流出を引き起こす。こうして、積み込み部で生じた圧力が、積み降ろし部に向けた篩部内容物の体積流（圧流）を引き起こすと考えられている。ただし、十分な圧力差が維持されるために、篩管途中に孔の空いた篩板が形成されている。

(問2) 一般的な植物細胞の大きさ（端から端までの長さ）を $50\mu\text{m}$ とする。分子Xがこの細胞を端から端まで拡散するために10秒かかったとする。

- ① 今、根で吸収された分子Xが拡散だけで細胞間を受け渡されていくとすると、高さ50mの木の先端に到達するのにどのくらいの時間がかかるか計算しなさい（到達にかかる時間は、距離の2乗に比例するものとする）。
- ② 原形質流動の速度を $10\mu\text{m}/\text{sec}$ とすると、分子Xが細胞を端から端まで移動するのにどのくらいの時間がかかるか計算しなさい。根で吸収された物質が原形質流動だけで細胞間を受け渡されていくとすると、高さ50mの木の先端に到達するのにどのくらいの時間がかかるか計算しなさい（細胞は一列に並んでいるものとする）。

上の計算から、道管による物質輸送がいかに効率がよいかとめなさい。

- ② ① 細胞内での分子Xの拡散速度は、

$$50(\mu\text{m}) \div 10(\text{sec}) = 5(\mu\text{m}/\text{sec})$$

分子Xが拡散する距離の比は、

$$50(\text{m}) \div 50(\mu\text{m}) = 10^6$$

拡散速度は、この比の2乗に反比例するから、

$$5(\text{m}/\text{sec}) \div (10^6)^2 = 5 \times 10^{-12}(\mu\text{m}/\text{sec})$$

高さ50mを拡散するのにかかる時間は、

$$50(\text{m}) \div 5 \times 10^{-12}(\mu\text{m}/\text{sec}) = 10^{13}(\text{sec}) = \text{約}31\text{万}7\text{千年}$$

② $50(\text{m}) \div 10(\mu\text{m}/\text{sec}) = 50 \div 10 \times 10^{-6}(\text{sec}) = 5 \times 10^6(\text{sec}) = \text{約}58\text{日}$

道管の輸送速度は、数mm/秒と考えられているので、仮に5mm/秒で50mを上昇するなら、2.8時間あればよい、上の計算と比較すると、道管がいかに効率よく物質を輸送できるかがわかる。

「植物生理学」練習問題解答例 9 章

(問 1) 細胞が伸長するときに液胞の体積が増大することが観察される。細胞伸長に対する液胞体積の増大の意味を述べなさい。

- ① 細胞体積が増大する過程で、液胞のみが増大し細胞質の体積があまり変わらなければ、液胞内のタンパク質や代謝化合物濃度は細胞質に比べて低いので、窒素や消費エネルギーの節約になる。細胞質は、タンパク質合成など活発な代謝が行われている場なので、細胞質の体積を増大させるにはイオン濃度、pH、基質濃度、酵素の濃度、膜系などを最適な条件に保つために、液胞に比べて多くの窒素やエネルギーを必要とする。

(問 2) 根の伸長領域の細胞が横方向へは肥大せず、縦方向にのみ伸長する機構について説明しなさい。

- ② 細胞の伸長方向に対して直角に、丈夫なセルロース微繊維が樽の“たが”のように細胞を取り巻いているので、細胞は横方向へは肥大しにくいと考えられている。しきい値以上の膨圧があれば、細胞壁酵素の働きによって、セルロース微繊維の間をつないでいるヘミセルロースの短小化や水素結合の減少が起こり、細胞壁が緩むことによって細胞は縦方向へ伸長する。

(問 3) 伸長成長と先端成長において、細胞体積を増大させるために必要な 2 つの要素について、それぞれまとめなさい。

- ③ 伸長成長の場合は、しきい値以上の膨圧と細胞壁の緩みの 2 つの要素が必要である。先端成長の場合には、しきい値以上の膨圧とゴルジ小胞を先端部へ集めて細胞壁成分を放出する機構が必要である。よくわかっていないが、先端成長の場合にも先端部の細胞壁の緩みが必要である可能性もある。

(問 4) 茎頂分裂組織と根端分裂組織の働きについて、共通点と相違点をそれぞれまとめなさい。

- ④ (共通点) 茎頂分裂組織と根端分裂組織は、それぞれ茎や根の先端に存在する頂端分裂組織であり、そのなかに含まれる幹細胞の分裂によって継続的に組織や器官を作り続ける。
(相違点) 茎頂分裂組織から葉や花芽など側方に新たな器官が形成される。一方、根端分裂組織から側方に新たな器官は形成されない(側根は根の内部の内鞘細胞から形成される)。

「植物生理学」練習問題解答例 10 章

(問 1) 重力方向に成長する根を横にして水平すると、根は重力屈性反応を示して再び重力方向に屈曲する。このとき根ではどのようなことが起こっていると考えられるか、以下の語を用いて説明しなさい。〔根冠、コルメラ細胞、アミロプラスト、オーキシン輸送、偏差成長〕

- ① 根を横にして水平にすると、根冠のコルメラ細胞ではデンプン粒を含むアミロプラストが重力方向に移動する。するとコルメラ細胞で発現するオーキシン輸送体 (PIN3) が重力方向の細胞膜に局在するようになり、コルメラ細胞のオーキシンが根冠の重力方向側 (水平な根の下側) に輸送される。そしてこのオーキシンが別のオーキシン輸送体 (AUX1、PIN2) によって根の伸長領域に輸送されると、伸長領域の上側よりも下側でオーキシン濃度が高くなる。このようにして生じたオーキシンの不等分布によって根の下側の細胞伸長が抑制され、その結果、上側と下側で偏差成長が起こることによって根が重力方向に屈曲すると考えられる。

(問 2) オーキシン、ジベレリン、ジャスモン酸の 3 つの植物ホルモンは、受容体と結合した後の信号伝達の過程において共通する機構が存在する。どのような機構か説明しなさい。以下の語を用いて説明しなさい。〔SCF ユビキチンリガーゼ、プロテアソーム、リプレッサータンパク質、遺伝子発現〕

- ② これらの植物ホルモンがそれぞれ特定の受容体タンパク質に結合すると、受容体を構成因子とする SCF ユビキチンリガーゼ複合体によって、各植物ホルモンに応答した遺伝子発現を負に調節するリプレッサータンパク質がユビキチン化を受けて、26S プロテアソームを介して分解される。その結果、リプレッサータンパク質によって機能が抑制されていた転写因子が活性化し、各植物ホルモンに応答した遺伝子発現が起こる。

「植物生理学」練習問題解答例 11 章

(問 1) 植物の光応答の特徴を、われわれの視覚と比較しつつ説明しなさい。

- ① われわれの視覚では、ロドプシンに代表される膜貫通型の光受容体で光刺激を感知する。それに対して、植物は、これとは構造も作用機構も大きく異なるフィトクロム、クリプトクロム、フォトトロピンなどの光受容体を利用している。また、視覚においては、目という光刺激受容に特化した器官によって光刺激を受容し、その情報は神経系を通じて脳に伝えられ情報が処理されるが、植物ではほとんどすべての器官・組織で光受容体を発現し、体全体で光刺激を受容している。さらに、視覚による情報伝達と異なり、植物の光応答では、遺伝子発現パターンの大きな変化を伴う形態形成応答が中心となる。

(問 2) フィトクロムによる光発芽にジベレリンが関与するとした場合、どのような機構により発芽が誘導されると考えられるか。その過程をできるだけ詳しく記述しなさい。

- ② 内生ホルモンであるジベレリンは発芽を促進する。一方、フィトクロムが活性化されると、発芽は促進される。これをもとに考えると、フィトクロムからのシグナルにより、ジベレリンの量が増加する可能性と、細胞のジベレリンに対する応答性が増加する場合が考えられる。前者の機構としては、フィトクロムの応答が主に遺伝子発現の制御を介して引き起こされることを前提とすれば、ジベレリン合成酵素遺伝子の発現誘導やジベレリン不活性化酵素の発現抑制、という機構が考えられる。また、後者については、ジベレリンの受容体を含む、ジベレリンのシグナル伝達因子の発現制御を介した制御が考えられる。

(問 3) クリプトクロムとフォトトロピンにはないフィトクロムの特徴を挙げ、その性質が植物の生存にどのように役立っているか考察しなさい。

- ③ 植物には複数の光受容体があるが、赤色光と遠赤色光に応答するのは、フィトクロムのみである。植物はこの性質をうまく利用して、スペクトルの変化(赤と遠赤色光の比)を一つの光受容体で感知している。また、クリプトクロムやフォトトロピンは、青色光を照射している間だけ活性化されていて、光を遮断した後は自発的にすみやかに不活性型に戻るのに対して、一度活性化されたフィトクロムは、暗所でも活性状態で長時間留まる。この性質により植物は、過去の光環境を半日程度は「記憶」することができる。このような性質を持つ光受容体と活性化が即時的な他の光受容体を組み合わせることで、多様な光応答が可能になる。

「植物生理学」練習問題解答例 12 章

(問 1) シロイヌナズナの野生型において、クラス B 遺伝子の AP3 と PI の両方をすべての花の環境で異所的に発現させた場合、どのような花が発生するか推測しなさい。

- ① 外側の環境から、花卉・花卉・雄ずい・雄ずい、となる花が発生すると推測される。

(問 2) 有性生殖と無性生殖の長所と短所について、それぞれ説明しなさい。

- ② 有性生殖の長所：子は親の遺伝子を半分ずついろいろな組み合わせで受け継ぐので、親や兄弟と全く同じ形質を示さず、新しい形質をもつ個体生まれる。そのため生育環境の変化に対して高い適応力をもつ個体出現する可能性がある。

有性生殖の短所：生殖細胞同士が接合する必要があるため、両親の生殖細胞がなければ新たな個体を生み出すことができない。

無性生殖の長所：生殖細胞同士が接合する必要がないため、一個体で新たな個体を生み出すことができる。

無性生殖の短所：子は親と遺伝的に全く同じ形質をもつため、生育環境の変化に対して適応できない可能性がある。

(問 1) 植物が低温、凍結に対して示す生理反応を挙げなさい。

- ① 植物は(凍結には至らない)低温にさらされると、1. 脂質の不飽和化を進めて膜の流動性を上げたり、2. 適合溶質を合成して、細胞内浸透圧を上昇させ水の流入を促すことで、低温による水の活動度の低下に対応する。また、一般的な酵素反応の低下に加えて、特に重要な反応として液胞膜 H^+ ポンプの活性低下による細胞内pH調節能の低下や、葉緑体 F_1F_0 -ATPaseの不活性化によるATP合成能の低下が生じることが知られている。

凍結条件にさらされた場合は、上に述べたような低温により生じた生理反応に加えて、水そのものを細胞外に排出して、凍結にともなう水の体積膨張による細胞破壊を防いだり、不凍タンパク質を合成することで、氷晶の形成を防ぐ。

(問 2) 植物のもつ環境応答機能を利用して、環境汚染を修復する手法が多数開発されている(ファイトレメディエーションとよぶ)。あなたが、実際に植物の機能を利用して環境修復を行うとすると、どのような実験計画を立てればよいか、具体案をまとめなさい。

1. どんな環境汚染に利用するか。
2. 植物のどんな生理機能を用いるか(詳細に)。
3. どのような手法で、環境汚染が修復できるか(具体的な実験手順)。
4. 実際に応用する場合に、どのような問題が生じると考えられるか。

② <例>

1. 土壌のカドミウム汚染。
2. カドミウムを吸収することができるが、そのことによって植物の生育が著しく阻害を受けない。
3. カドミウムを吸収する能力の高い植物の探索を行う。あるいはカドミウムの輸送機能をもつ膜タンパク質を遺伝子組換えによって発現させる。吸収したカドミウムを無毒化する機構を強化する。
4. カドミウムの吸収能が土壌の汚染除去に見あうだけ十分に高いかどうかを検証する必要がある。カドミウムを吸収した植物をどのように処理するかを考える必要がある。

(問 3) 植物は、あるストレスに生理的耐性を獲得すると、他のまったく関係ないストレスにも対応できるようになることが知られている。このような異なる複数のストレスに対応できる機構が進化する理由を考察しなさい。

- ③ 1. 実際の自然界では1種類の環境ストレスだけが増加することは少ない。たとえば、陸上であれば光の量が減ったときには気温も下がったり、日差しが強くなると乾燥しやすい場合が多いと思われる。それぞれのストレスを感知して応答する経路が途中でひとつに合流している場合は合流点より下流のどこかで対応すれば、両者のストレスに対応できる。
2. 異なるストレスが、同じ機能を阻害する場合、片方のもたらす結果に対して耐性を得ると、原因となる

ストレスの両方に対して耐性ができる。たとえば、光合成能が低下すると、活性酸素量が増えそれが植物に阻害的に働く。このとき、活性酸素量を軽減する機構は、複数のストレスへの対抗機構として機能しうる。

「植物生理学」練習問題解答例 14 章

(問 1) 植物は病原体と遭遇すると病原体に由来する分子を認識し、病原体の感染を阻止する機構をもっている。植物に認識される病原体因子にはどのようなものがあるか。また、それらをまとめてなんとよぶか述べなさい。

- 1
- ・糸状菌では、細胞壁成分のキチン、グルカン、糖タンパク質、タンパク質。
バクテリアでは、鞭毛成分のフラジェリンタンパク質、翻訳伸長因子 (EF-Tu) やリポ多糖。
 - ・まとめて、病原体関連分子模様 (pathogen-associated molecular patterns, PAMPs) あるいは (microbe-associated molecular patterns, MAMPs) とよぶ。

(問 2) 糸状菌が植物に感染を試みると感染部位に物理的バリアーが形成される。その構造体を何というか。また、その構造体はどのような成分からなるか述べなさい。

- 2
- ・構造体……ペピラ
 - ・成分……カロース (1,3 β グルカン)

(問 3) 病原体が宿主植物に感染を試みると感染部位に壊死病斑が形成され、感染が阻止される場合がある。このような反応をなんとよぶか。また、この反応に関わる植物の遺伝子と病原体の遺伝子はどのような関係にあるのかを述べなさい。

- 3
- ・反応……過敏感反応 (hypersensitive response: HR)
 - ・関係……一対一の特異的な関係

(問 4) 植物は、病原体の攻撃にさらされ病斑が形成されると、全身に抵抗性が誘導される場合がある。この抵抗性をなんとよぶか述べなさい。また、この抵抗性誘導におもに関わる化合物 1 つと、発現誘導されるタンパク質の総称を答えなさい。

- 4
- ・抵抗性……全身獲得抵抗性 (systemic acquired resistance: SAR)
 - ・化合物……サリチル酸
 - ・タンパク質の総称……PR タンパク質 (pathogenesis-related proteins)

(問 5) 根圏での細菌の共生で抵抗性が誘導される。この抵抗性をなんとよぶか述べなさい。また、その抵抗性に関わる化合物を挙げなさい。

- 5
- ・抵抗性……誘導全身抵抗性 (induced systemic resistance: ISR)
 - ・化合物……ジャスモン酸、エチレン

(問 6) 植物はウイルスや導入外来遺伝子由来の RNA に対してそれらを排除する機構をもっている。その機構をなんとよぶか。また、その機構を効率よく誘導する因子を述べなさい。

- [6] ・機構……RNAサイレンシング
・因子……2本鎖構造を取る RNA（2本鎖 RNA）

（問7）異物 RNA を排除する機構（問題6）に関わる植物の遺伝子を挙げ、異物 RNA の排除機構を説明しなさい。

- [7] ・遺伝子……dicer 様タンパク質(DCL)やアルゴノートタンパク質 (AGO) をコードする遺伝子
・dicer 様タンパク質は2本鎖 RNA 分解酵素で、異物 RNA の2本鎖構造領域を標的にして21～24塩基の2本鎖 siRNAをつくる。siRNA はRNA 誘導サイレンシング複合体(RISC) の構成成分である AGOに取り込まれる。AGO は2本鎖 RNA 分解酵素であり、 siRNA を介して相補的配列をもつ標的 RNA に結合し切断する。

（問8）ウイルスは植物の異物 RNA を排除する機構に対抗する因子をもっている。その因子をなんとよぶか。また、その因子の作用点と RNA サイレンシング阻害機構を1つ挙げて説明しなさい。

- [8] ・因子……RNAサイレンシングサプレッサー
・作用点と阻害機構……2本鎖 RNA に結合し、siRNA の生成を阻害する。2本鎖 siRNA に結合し、siRNA の AGO への取り込みを阻害する。AGO に結合し、AGO の RNA 切断活性を阻害する。いずれも正解。

「植物生理学」練習問題解答例 15 章

(問 1) アーバスキュラー菌根菌と根粒菌の感染および共生様式の違いを説明しなさい。

- ① アーバスキュラー菌根菌は内生菌糸を介して根の皮層細胞に樹枝状体を形成し、土壌から吸収したリンを宿主植物に供与するのに対し、根粒菌はペリバクテロイド膜に包まれバクテロイドとなり、大気中の窒素を固定し宿主植物に供与する。

(問 2) 根粒菌が分泌する Nod ファクターの分子構造と機能を説明しなさい。

- ② Nod ファクターには、根毛のカーリングや感染系の通り道をつくる働きと、根の皮層細胞に分裂を誘導し根粒をつくる働きがある。

(問 3) 共生窒素固定に関わる根粒菌側因子と植物側因子をあげ、それぞれの役割を説明しなさい。また、ハーバー・ボッシュ法との違いをあげなさい。

- ③ 根粒菌側因子：ニトロゲナーゼ……大気中の窒素をアンモニアに還元する反応を触媒する。
宿主側因子：レグヘモグロビン……感染細胞内を低酸素分圧に保ちニトロゲナーゼの失活を防ぐ。