

受 験 専門科目名	植物生理学	この科目について (5)枚のうち(1)枚目
--------------	-------	------------------------------

以下の【問題1】【問題2】【問題3】のすべてに答えよ。
ただし、解答は【問題】ごとに別々の解答用紙に記入すること。

【問題1】

単離葉緑体の光合成活性測定を、酸素電極を用いた以下の操作(a)~(f)の手順で行った。

- (a) ホウレンソウの葉を緩衝液とともにブレンダーで破碎し、ガーゼでろ過、次いで目の細かいナイロンメッシュでろ過した。ろ液を遠心して葉緑体を沈殿させ、新しい破碎液で沈殿物を懸濁して無傷性が高い葉緑体懸濁液を得た。葉緑体の無傷性とは、葉緑体包膜が破損していない程度を表す指標である。
- (b) クロロフィルの抽出を行うため、葉緑体懸濁液の一部をエタノールと混ぜた。この混液を遠心して得られた上清について、クロロフィル a およびクロロフィル b の吸収極大波長での吸光度を測定してクロロフィル濃度を算出し、以降の測定で用いる懸濁液量を決定した。
- (c) 葉緑体懸濁液を酸素電極装置(図1)のチャンバー内に入れ、溶液内の O₂ 濃度を経時的に測定した。酸素電極は、白金電極と銀電極が KCl 溶液中に収まり、O₂ 透過性の膜でチャンバー内の反応液とは隔てられている。電極間に電圧をかけると試料液中の O₂ 濃度に比例した電流が流れることにより、試料液中の O₂ 濃度を計測することができる。
- (d) チャンバー内の葉緑体懸濁液に、CO₂ 供給源となる NaHCO₃ 溶液を添加し、光照射を行うと、O₂ 濃度の上昇がみられた(図2)。
- (e) チャンバー内の試料液を捨て、新たな葉緑体懸濁液を入れた。次いで、カルビン回路中間体の3-ホスホグリセリン酸(3-PGA)溶液を添加して O₂ 濃度を経時的に測定した。光照射に伴い O₂ 濃度の上昇が観察された(図3)。
- (f) 単離葉緑体の無傷性を調べた。チャンバー内に新たな葉緑体懸濁液を入れ、フェリシアン化カリウム溶液(K₃Fe(CN)₆、電子受容体)とアンモニア溶液(脱共役剤)を添加し、O₂ 濃度を経時的に測定した。光照射に伴い O₂ 濃度の上昇が見られ、さらに極微量の界面活性剤を添加すると O₂ 発生が促進された(図4)。フェリシアンイオン(フェリシアン化物イオン)は負に帯電しているため生体膜を透過できず、界面活性剤添加前の O₂ 発生は包膜が破損した葉緑体由来し、添加後の O₂ 発生は破損および無傷葉緑体由来する。界面活性剤添加前後での O₂ 発生速度の比から無傷の葉緑体の割合を算出した。

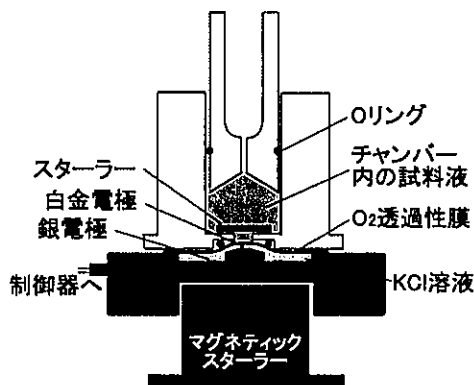


図1 酸素電極装置の断面図

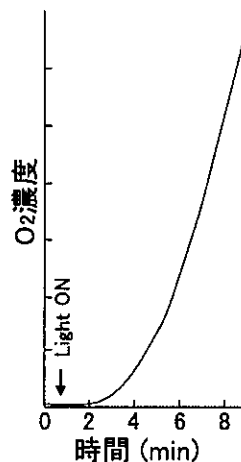


図2

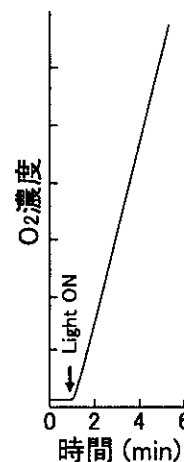


図3

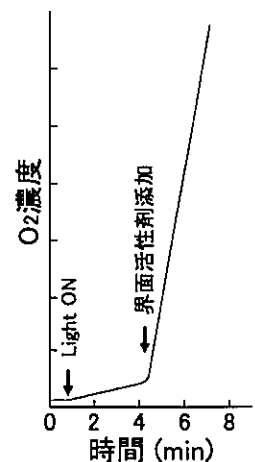


図4

2026年度名古屋大学大学院生命農学研究科博士前期課程入学試験

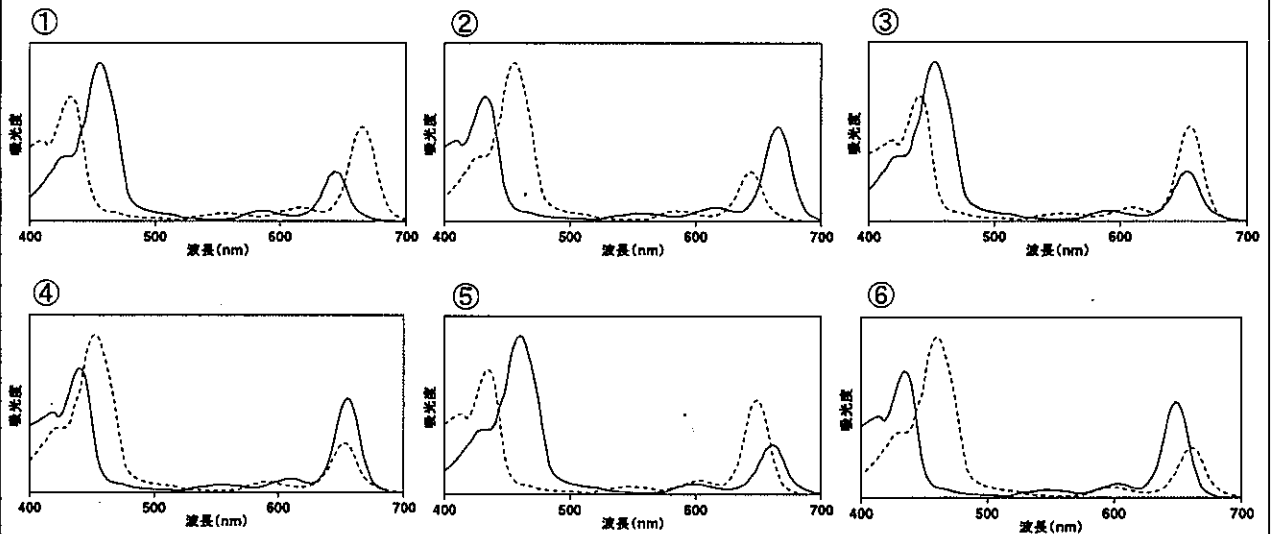
受 験 専門科目名	植物生理学	この科目について (5)枚のうち(2)枚目
--------------	-------	------------------------------

【問題1のつづき】

上記の操作に関連した以下の問に答えよ。

問1. クロロフィルは、葉緑体内のどこで、どのような状態で存在するか述べよ。また、操作(b)のクロロフィル抽出において、エタノールがどのような役割を果たすか述べよ。

問2. クロロフィル a とクロロフィル b の吸収スペクトル (400~700 nm) として最も適切な図を次の①~⑥の中から選べ。なお、実線はクロロフィル a、破線はクロロフィル b を示す。



問3. 操作(d)における O_2 発生は、葉緑体で起こる光合成反応に基づくものである。 CO_2 供給と光照射に応じて O_2 が発生する機構を、炭素還元反応と光化学反応の観点から説明せよ。

問4. 操作(e)において、懸濁液中加入した 3-PGA はどのようにして葉緑体内に移動するか説明せよ。また、3-PGA 添加後の光照射により O_2 発生が起こる機構を説明せよ。

問5. 3-PGA は、多様な代謝で利用される重要な代謝中間体である。光合成が盛んに行われている細胞において、葉緑体内で生じた 3-PGA はその後どのような代謝で利用され、どのような物質へと変換されるかを説明せよ。

問6. 操作(f)において、電子受容体のフェリシアンイオンと脱共役剤のアンモニウムイオンが O_2 発生過程においてどのような役割を果たしているかを説明せよ。また、界面活性剤添加前後の O_2 発生速度比から無傷の葉緑体の割合が算出できる理由を説明せよ。

2026年度名古屋大学大学院生命農学研究科博士前期課程入学試験

受 験 専門科目名	植物生理学	この科目について (5)枚のうち(3)枚目
--------------	-------	------------------------------

【問題2】

植物の構造に関する以下の問に答えよ。

問1. 高等植物は一次細胞壁と二次細胞壁をもつ。

1-1. 高等植物の細胞壁を構成する主要な多糖類を3つ挙げよ。

1-2. 植物細胞は周囲が細胞壁で完全に覆われているわけではなく、隣接する細胞の原形質を繋ぐ連絡構造を持つ。この構造の名称を答えよ。また、この連絡構造は可逆的な閉塞機能を持つことが知られている。この閉塞に関係する多糖の名称を答えよ。

1-3. 道管細胞は発達した二次細胞壁を有する死細胞である。道管細胞において、二次細胞壁が発達すること、死細胞であること、の生理学的なメリットをそれぞれ述べよ。

問2. 植物はその成長過程において、光の方向に茎を曲げたり、養水分のある方向に根を曲げたりする。

2-1. 茎の正の屈光性に関与する主要な光受容体の名称を答えよ。

2-2. 偏差生長に関係する植物ホルモン名を答えよ。

2-3. どのように植物細胞が伸長するのか、その過程を酸成長説に基づき説明せよ。

問3. 単子葉植物と双子葉植物の茎を比較すると、形成層の有無に違いがある。この違いが、それぞれの多年生植物の生存戦略にどのような特徴をもたらしているか述べよ。

受 験 専門科目名	植物生理学	この科目について (5)枚のうち(4)枚目
--------------	-------	------------------------------

【問題 3】

イネの茎の発生過程に関する以下の問に答えよ。

イネの茎は、節と節間が交互に並ぶ「節-節間ユニット」の繰り返しによって構成されており、各ユニットには葉と腋芽が付属する（図 5）。茎およびその周辺構造は、基部側から頂端側に向かって、1.茎足、2.節間、3.節、4.葉の順に並ぶ。このうち、1~3 はまとめて「茎」と呼ぶことができる。

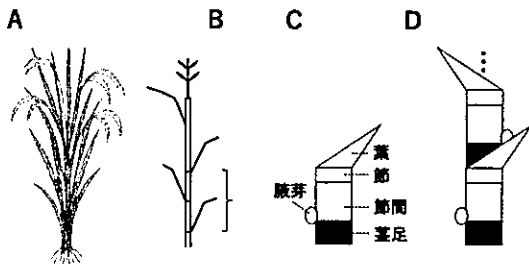


図 5 イネの茎の構造

A 出穂期のイネの全体像。

B イネの茎と穂の構造の模式図。D に示した領域を括弧で示した。節-節間ユニットを異なる色で示した。

C 節-節間ユニットの構造。

D 節-節間ユニットが連続する様子。

これらを構成する細胞の運命決定が発生過程のどの段階で行われるのかを推定するため、クロールナル解析と呼ばれる実験を行った。ここではある細胞で生じた DNA 配列の組み換えの痕跡が、その細胞から分裂して生じたすべての娘細胞の系譜に受け継がれることを利用する（図 6）。本実験では①熱ショックによる DNA 配列の組換えを誘導する系と②組換えが生じたらβ-グルクロニダーゼ（GUS）を発現する実験系を組み合わせる。熱ショックを行わなかった状態ではすべての細胞が GUS を発現できない。一方で植物体全体に熱ショックを与えると、ランダムにかつ低頻度の一部の細胞において組換えが生じて GUS を発現する細胞が生じる（図 6）。組換えが起きた細胞およびそのクローンでは GUS が発現するため、GUS 染色を行うと、青く染色される細胞集団（セクター）が観察される（図 7）。

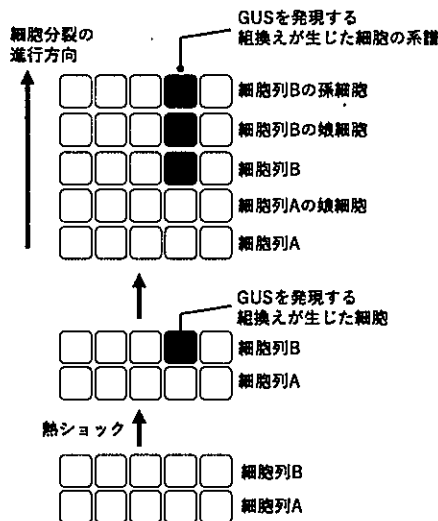


図 6 クローナル解析

熱ショックを与えるとランダムかつ低頻度に組換えが生じ、GUS を発現する細胞が生じる。この細胞の娘細胞の系譜はすべて GUS を発現する。ここでは細胞列 A 及び B で構成された仮想的な組織を模式的に示した（下段）。熱ショックにより細胞列 B で 1 細胞のみ組換えが生じ GUS を発現する細胞が生じた（中段）。その後細胞列 A が 1 回、細胞列 B が 2 回細胞分裂した状態を示す（上段）。

この実験系を用いて作製したクローナル解析用イネを材料に、まだ形態的に茎が識別可能になる前のある生育段階の早期、中期、後期に短時間の熱ショック処理を行い、その後、茎の発生が進んでから GUS 染色を実施し、生じたセクターがどの部位に観察されたかを調査した（図 8）。なおこの実験では最上位の節、節間、茎足とそれに付属した葉に注目した。また実験は複数の個体に実施しており、1 個体あたりに生じたセクター数は 1 つであった。

次ページに続く

受 験 専門科目名	植物生理学	この科目について (5)枚のうち(5)枚目
--------------	-------	------------------------------

【問題3のつづき】

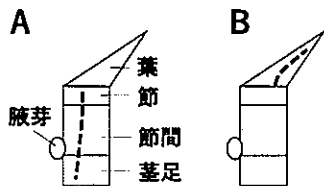


図7 イネの茎と葉に生じた GUS セクター（点線）の模式図。
A 茎足-節間-節に及ぶセクター。
B 葉のみで観察されたセクター。

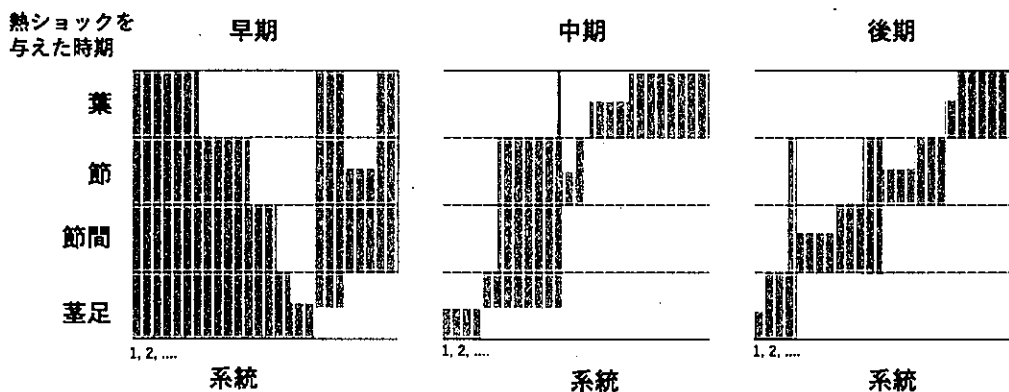


図8 GUS セクターの出現パターン

各グラフの横軸は観察したそれぞれの系統を示す。1系統につき1つのセクターが観察された。縦軸はそれぞれのセクターについて GUS 染色が観察された組織を示す。

この結果に関連して、以下の問いに答えよ。

- 問1. 節のみに GUS 染色が認められるセクターに注目する。このセクターを生じる起源となった細胞は、熱ショック時点でどのような分化の運命決定状態にあったと考えられるか説明せよ。
- 問2. 早期に熱ショックを与えたのち、茎が十分に伸長した段階で GUS 染色を行ってセクターを観察したところ、茎足・節間・節・葉の基部のすべてにまたがるセクターが多数見られた。このようなセクターが生じた理由について、熱ショック処理時点における細胞の運命決定の状態に着目して説明せよ。
- 問3. 中期の植物に熱ショックを与え、その後茎が伸長した段階でセクターを観察したところ、「茎足-節間-節」にまたがるセクターと、葉のセクターは多数見られたが、これら2つの領域をまたぐセクターは少数であった。この結果から、熱ショック時点における細胞の運命決定の状態について、どのように考えられるか説明せよ。
- 問4. 茎足・節間・節に運命決定された細胞系譜が出現する順序はどのように考えられるか。その根拠とともに答えよ。

2026年度名古屋大学大学院生命農学研究科博士前期課程入学試験
解答例及び出題意図

専門科目名	植物生理学
-------	-------

問題 1

問 1

- ・ クロロフィルは、チラコイド膜内で、クロロフィル結合タンパク質の疎水性領域と配位結合して存在する。
- ・ エタノールがチラコイド膜を含め生体膜（脂質二重膜）を崩壊し、チラコイド膜内部に存在する疎水性のクロロフィル分子を可溶化させるため。

問 2 ②

問 3 単離葉緑体内に保持されている Rubisco により CO_2 が固定され、以降のカルビン回路の駆動が起こり、ATP と NADPH が消費される。光照射下で光化学反応系が駆動して ATP と NADPH が生成されるが、その際に光化学系 II における水分解に伴う O_2 発生が起こる。

問 4

- ・ 葉緑体内包膜に存在するトリオースリン酸/リン酸輸送体により、葉緑体外の 3-PGA とストロマ内のリン酸あるいはトリオースリン酸とが交換輸送される。
- ・ 葉緑体内に取り込まれた 3-PGA は、カルビン回路の酵素によりグリセルアルデヒド 3-リン酸に変換される。その際、3-ホスホグリセリン酸キナーゼ反応で ATP が加水分解され、次いで NADP-グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼ反応で NADPH が酸化される。この ATP と NADPH の濃度減少に伴って光化学反応系が駆動し、 O_2 発生が起こる。

問 5 ストロマ内の 3-PGA はカルビン回路により Rubisco の基質となるリブローズ 1,5-ビスリン酸にまで変換される。また、一部の 3-PGA はストロマ内でデンプン合成に用いられる。さらに、トリオースリン酸/リン酸輸送体によりサイトソルに輸送された 3-PGA はショ糖合成や解糖系に供せられる。

問 6

- ・ フェリシアンイオンは、フェレドキシンの代わりに光化学系 I から電子を受容する。アンモニウムイオン (NH_4^+) は、非解離型 (NH_3) としてチラコイド膜を自由に透過し、内腔（ルーメン側）で H^+ と結合してアンモニウムイオンとなることで、内腔の H^+ 濃度を下げる。その結果、チラコイド膜間の H^+ 濃度勾配が解消し、電子伝達が促進される。
- ・ 界面活性剤添加前では包膜の無傷性が高いのでフェリシアンイオンは光化学系に近づくことができず O_2 発生速度は低い。界面活性剤添加により包膜を壊すとフェリシアンイオンが光化学系から電子を受容できるようになり、光化学系の電子伝達が活発になることで高い O_2 発生がみられるようになる。

出題意図

植物生理学のうち、光合成の分子機構ならびに代謝に関する知識と考察力を問う。

問題 2

問 1

1-1.

【記入例】

- ・セルロース（セルロースマイクロフィブリル）
- ・ヘミセルロース（キシログルカン、グルコマンナン）
- ・ペクチン（ガラクトuron酸重合体）

1-2.

- ・プラズモデスマータ（原形質連絡）
- ・カロール（ β -1, 3-グルカン）

1-3.

二次細胞壁が発達する利点

二次細胞壁が一次細胞壁よりもはるかに厚く強固に形成されることで、植物体の物理的支持や大型化を可能にし、重力や外部からの力に耐える構造を実現する

発達した二次細胞壁に多量に含まれるリグニンが細胞壁を疎水化、強固化することで、水の効率的な輸送と、病原菌や微生物による分解・侵入に対する耐性を高める。

死細胞である利点

水輸送は主に物理的な毛管現象や蒸散による引力で行われるため、能動的なエネルギー消費は不要である。道管細胞が死細胞となることで、エネルギー消費を抑えることが可能となる。

道管細胞は二次細胞壁形成後のプログラム細胞死により、細胞内容物を消失した中空の管状構造となる。これにより、細胞内の障害物がなくなり、水分や無機養分の効率的な輸送が可能となる。

問 2

2-1.

フォトトロピン（青色光受容体）

2-2.

オーキシン

2-3.

植物ホルモン（オーキシン）が存在することで、細胞膜上の H^+ -ATPaseが活性化し、 H^+ を細胞壁へと放出することで細胞壁のpHが低下する。それにより、酸性条件下でエキспанシンが活性化し、セルロース微繊維間の結合や細胞壁複合体を緩める応力緩和が起こる。応力緩和により、植物細胞の膨圧と水ポテンシャルが低下し細胞が吸水することで、細胞壁が不可逆的に伸長する。この際、セルロース微繊維の整列が行われ、その向きによって細胞の伸長方向が決まる。

問 3 単子葉植物の茎には形成層が存在しないため、二次成長により肥大せず、草本性の種が多い。単子葉植物で多年生を示す種は、地上部はそれほど大きくなり一年生であることが多いが、地下茎や球根など、環境の安定した地下部を発達させ、好ましい環境になった時点で短期間に個体数を増やす生存戦略をとっている。

双子葉植物は茎に形成層をもち、二次成長により肥大ができる。そのため、双子葉植物で多年生を示す木本植物など、長寿命・大型化により効率的に光を獲得する生存戦略をとっている。

出題意図

植物生理学のうち、植物の構造に関する知識と考察力を問う。

問題 3

問 1

節のみにGUSセクターが認められた系統において、GUS陽性細胞を生じる起源となった細胞は、熱ショック時点で既に節の細胞になるべく運命づけられており、茎足や節間、葉など他の組織には分化しない状態にあったと推定される

【記入例】

問2

複数の領域にまたがる広範なセクターが観察された系統が多数みられたことから、早期においては、まだ茎足・節間・節・葉といった特定の領域のみに分化するような運命決定がなされていない細胞が多数存在しており、この時点におけるこれらの細胞が分裂して生じた系譜の細胞は後に茎足・節間・節・葉を構成する細胞になったと考えられる。

問3

茎を構成する茎足、節間、節にまたがるセクターが観察された系統と、葉のみにセクターが観察された系統は多く見られたが、茎と葉をまたぐセクターが観察された系統は少なかったことから、中期の時点において、茎になる細胞と葉になる細胞は、すでに別々の運命に分かれていた細胞が多く存在したと考えられる。一方で茎足、節間、節にまたがるセクターが多数見出されたことから、茎に運命決定されているが、茎内における別々の組織への運命決定はまだなされていない細胞が多く存在したと考えられる。

問4

それぞれの領域のみに限局したセクターに注目すると、茎足は初期、節は中期、節間は後期に出現する。このことから、茎内のどれか一つの領域に運命決定された細胞が出現する順序は茎足、節、節間の順序であると考えられる。

出題の意図 植物生理学のうち、植物の発生に関する知識と考察力を問う。