

理科問題紙

令和2年2月25日

自 14:00

至 16:00

答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から29までの29ページである。
2. 解答用紙は、生物⑦、⑧、⑨、化学⑩、⑪、⑫、⑬、物理⑭、⑮、⑯の10枚である。
3. 生物、化学、物理のうち2科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後30分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。

生 物

1

- (1) イギリスの生化学者ロバート・ヒルは1939年に、すりつぶした緑葉抽出液にシュウ酸鉄(Ⅲ)を加える有名な実験をおこない、光合成における酸素の発生と二酸化炭素の固定が独立した反応であることを証明した。ヒルの実験におけるシュウ酸鉄(Ⅲ)のはたらきは、以下のように説明できる。

光合成では、 膜で水を光分解して得た電子は最終的に に渡され が生じ、 は 回路に電子を渡して に戻る。しかし、緑葉をすりつぶすと、葉緑体が破壊されて 回路が壊れ が に戻れなくなる。その結果、 膜内の電子伝達系を流れた電子の受け取り手がなくなり、電子の流れが停滞して水の光分解も止まる。ここにシュウ酸鉄(Ⅲ)などの を入れてやると、それが の代わりに 膜を流れた電子を受け取るため、電子伝達系が動きだし水の光分解が起こるのである。

ヒルはこの実験から、二酸化炭素がなくても酸素が発生することを示した。これにより、酸素が二酸化炭素ではなく水に由来することを間接的に示したともいえるが、これを直接的に実証したのはアメリカの化学者サミュエル・ルーベンで、ヒルの実験の2年後のことであった。

問 1 ~ に入る語を書きなさい。

問 2 には酸化剤あるいは還元剤のいずれかの語が入る。どちらが正しいか、答えなさい。

問 3 下線部で、ルーベンは光合成で発生する酸素が水に由来することをどのように実証したか、説明しなさい。

- (2) ヒルは図1に示すような実験装置をつくり、光合成に関する実験を行った。この実験装置の説明と、以下の実験に関する説明を読み、各問に答えなさい。なお、ミトコンドリアによる酸素消費は考慮しなくてよい。

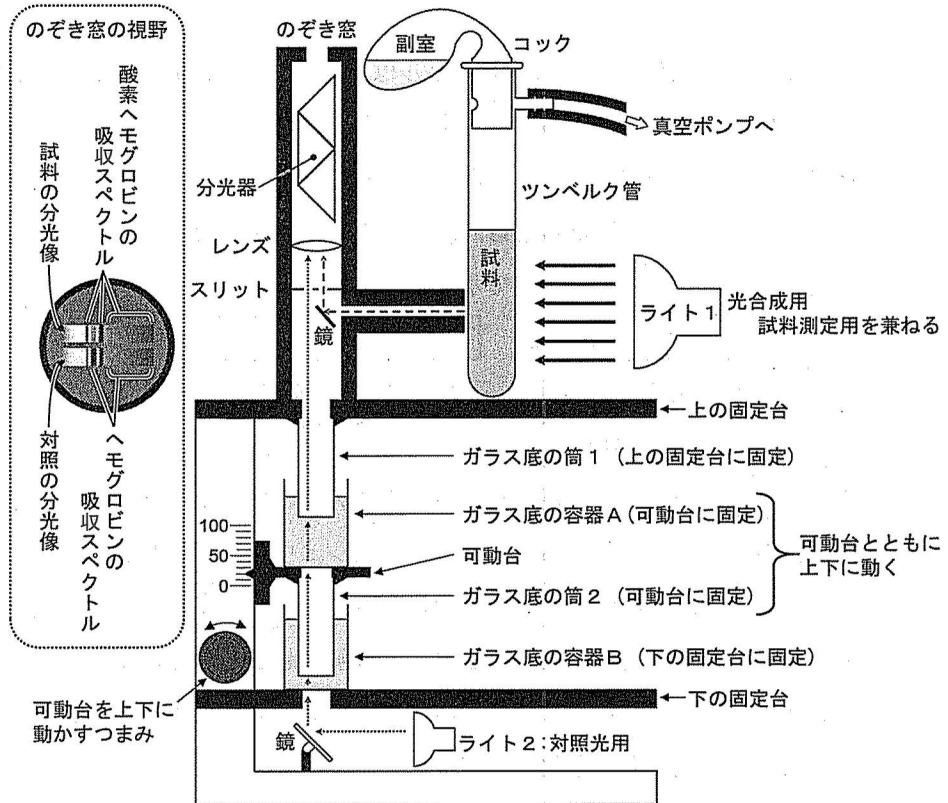


図1 ヒルの実験装置。ライト1, 2はともに白色光を発する。可動台を100の目盛りの位置に上げると容器Aの底が筒1の底に接し、0に下げると筒2の底が容器Bの底に接する。容器AとBのそれぞれにヘモグロビンまたは酸素ヘモグロビンの希釈液を入れ、両液に光を通過させ対照とする。ヘモグロビンと酸素ヘモグロビンは、それぞれ異なる波長の光を吸収するため、各液の通過距離の割合に応じた吸収スペクトルが得られる。試料を通過する光も、ヘモグロビンと酸素ヘモグロビンの含有量の割合に応じた吸収スペクトルが得られる。

実験材料

緑葉抽出液：ハコベの葉をショ糖緩衝液に入れすりつぶした液。

シュウ酸鉄(Ⅲ)溶液：100 mg/Lのシュウ酸鉄(Ⅲ)水溶液。ツンベルク管の副室に入れておく。

ヘモグロビン溶液：ヘモグロビンを含むショ糖緩衝液で、脱気して酸素を完全に除去したもの。試料に入れる。また、希釈して容器AまたはBに入れておく。

酸素ヘモグロビン溶液：希釈したヘモグロビン溶液に酸素を吹き込んで、含まれるすべてのヘモグロビンに酸素を結合させたもの。容器AまたはBに入れておく。

試料：0.5 mLの緑葉抽出液と4.5 mLのヘモグロビン溶液の混合液に、最終濃度が5～15 mg/Lになるようにシュウ酸鉄(Ⅲ)を添加した溶液。ツンベルク管に入れ、脱気してから測定する。

実験 1

ツンベルク管に、最終濃度 15 mg/L のシュウ酸鉄(Ⅲ)を加えた試料を入れ、脱気した後にライトを点灯して酸素ヘモグロビンの含有率の変化を1分毎に測定した。測定は、対照と試料の分光像を比較しながら可動台を上下に動かして吸収スペクトルの濃淡のパターンが同じになる位置を素早く探し出し、そのときの可動台の位置を示す目盛りを読み取ることにより行った。

実験 1 の結果

図 2 に示すように、測定開始後直ちに酸素ヘモグロビンの含有率が上昇した。途中で真空ポンプにより再度脱気すると、酸素ヘモグロビン含有率が一気に落ちたが、脱気を止めると再び上昇した。20分を過ぎたころから酸素ヘモグロビンの上昇が止まったが、副室のシュウ酸鉄(Ⅲ)溶液を試料に少し加えると再び上昇し始めた。

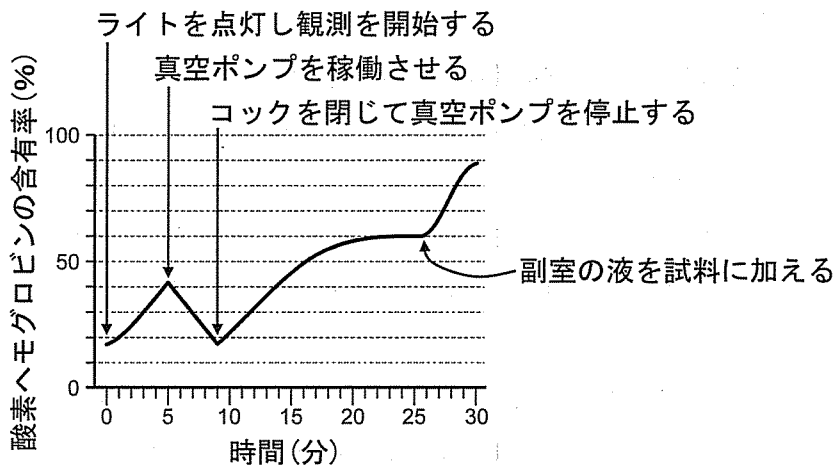


図2 実験1の結果

- 問1 この実験では、ヘモグロビンと酸素ヘモグロビンの希釈液のうち片方を容器Aに、もう一方を容器Bに入れておく必要がある。可動台の目盛りが酸素ヘモグロビンの含有率を示すようにするためには、ヘモグロビン溶液はAとBのどちらの容器に入れるべきか、記号で答えなさい。
- 問2 図2で、20分を過ぎたところで酸素ヘモグロビンの含有率の上昇が止まったのはなぜか、理由を書きなさい。
- 問3 試料に最終濃度が5 mg/Lになるようにシュウ酸鉄(Ⅲ)を加えた場合、図3の細い黒点線で示した結果が得られた。
- (ア) シュウ酸鉄(Ⅲ)の濃度を10 mg/Lにした場合、結果は細い黒点線とは違うパターンになった。それは、②～⑧のどれか、番号で答えなさい。ただし、シュウ酸鉄(Ⅲ)以外の条件は同じものとする。
- (イ) 試料に入れる緑葉抽出液の濃度を2倍にした場合、結果は細い黒点線とは違うパターンになった。それは、②～⑧のどれか、番号で答えなさい。ただし、緑葉抽出液以外の条件は同じものとする。

- (ウ) ライト1の光の強さを強くすると、結果は細い黒点線とは違うパターンになった。それは、②～⑧のどれか、番号で答えなさい。ただし、ライト1の光の強さ以外の条件は同じものとする。
- (エ) ライト1の前に赤あるいは黄緑色のガラス板を置き、試料に赤色光あるいは黄緑色光を照射した場合、結果はそれぞれ①～⑧のどのパターンになるか、番号で答えなさい。ただし、色ガラス以外の条件は同じで、赤色光は赤色の波長域の光のみを、黄緑色光は黄緑色の波長域の光のみを含み、それ以外の波長の光が混ざらないものとする。また、この実験では、測定のために測定時毎に数秒間色ガラスをはずす必要があるが、その操作は酸素発生に影響しないものとする。

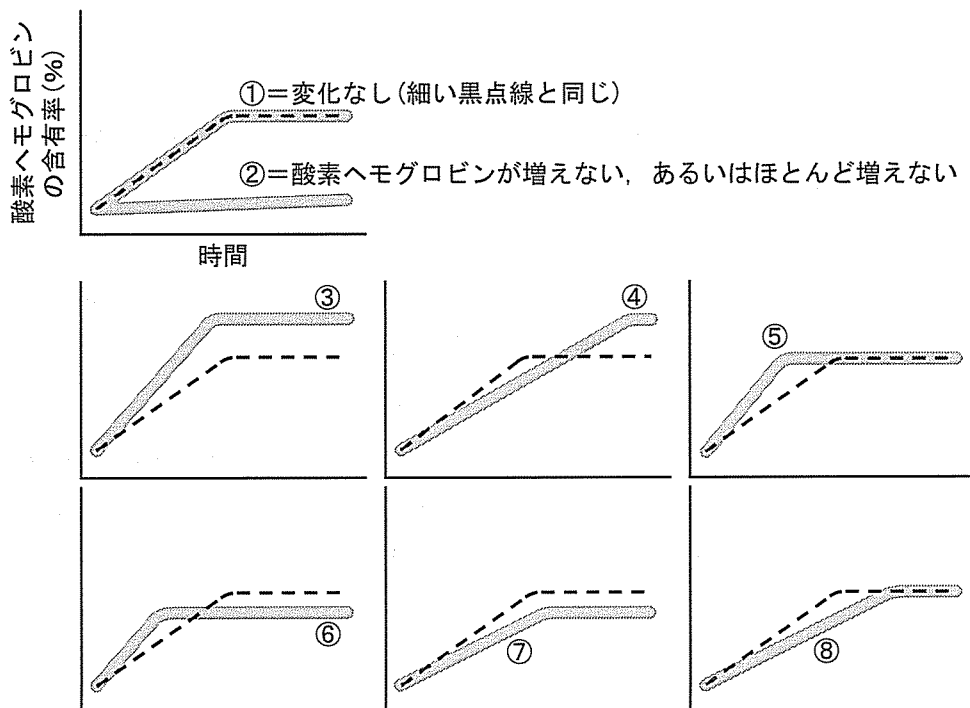


図3 グラフのスケールはすべて同じものとする。ただし、図2のグラフのスケール(目盛り)とは異なるので注意すること。

2 DNA は DNA 複製の誤りなどにより塩基配列が変化することがあり、これを突然変異という。遺伝子の突然変異には、ある塩基が他の塩基に置きかわる , 塩基が失われる , 新たに塩基が入り込む がある。一方、染色体の突然変異として、染色体の が変化する場合と構造が変化する場合がある。後者の例として、染色体の一部が切断され、それが別の染色体とつながる などがある。

問 1 ~ に入る語を書きなさい。

問 2 下線部について、DNA の複製では、もとの DNA の片方のヌクレオチド鎖が複製された DNA にそのまま受け継がれる。これを何というか、書きなさい。

問 3 遺伝子の突然変異が起こっても形質が変わらないことがある。どのような場合か説明しなさい。

問 4 遺伝子の突然変異によって、1つの塩基の変化が複数のアミノ酸配列に影響する場合がある。その理由を説明しなさい。

問 5 ヒトゲノムを個人間で比較すると、一定の範囲の塩基配列中に1塩基だけの違いが見られることがある。これを何と言うか、答えなさい。また、それは医学にどのように応用されているか、例を1つ挙げなさい。

(1) 細胞膜における物質輸送について、以下の問に答えなさい。

問 1 正常な生体組織におけるイオンポンプとイオンチャネルのはたらきについて、下から正しいものをすべて選び、記号を書きなさい。

- a ナトリウムポンプは Na^+ の拡散を促進する。
- b ナトリウムポンプは ATP を消費する。
- c Na^+ はナトリウムチャネルを通して細胞外から細胞内に輸送される。
- d Ca^{2+} はカルシウムポンプを通して筋小胞体の内部から細胞質に輸送される。

問 2 ユキノシタの葉の表皮細胞と赤血球をそれぞれ低張液に浸すと、細胞はどう変化するか簡単に書きなさい。また、これらの変化を引き起こす原因となる膜タンパク質の名称を書きなさい。

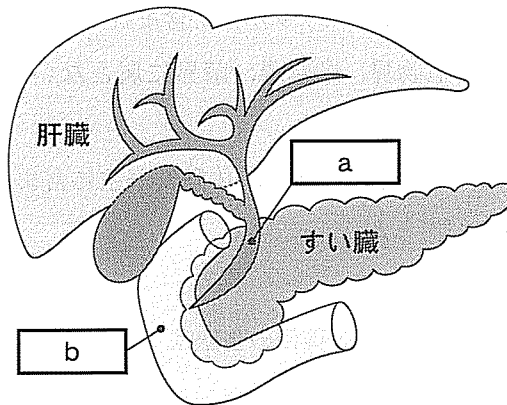
問 3 ある脳下垂体後葉ホルモンは、人体の体液恒常性を維持するために、腎臓の特定の部位の細胞における膜タンパク質の分布を調節している。このホルモンの名称と腎臓の部位の名称を書きなさい。

問 4 摂取したエタノールのおよそ 20 % は胃で吸収される。しかし、胃の細胞膜上にはエタノールを輸送する膜タンパク質は存在しない。なぜエタノールが胃で吸収されるのか、考えられる理由として適切なものを下から 1 つ選び、記号を書きなさい。

- a エタノールは水溶性なので胃の細胞膜を通過するから。
- b エタノールは脂溶性なので胃の細胞膜を通過するから。
- c エタノールは気化して胃の細胞膜を通過するから。
- d エタノールは胃で分解されて細胞膜を通過するから。

(2) 肝臓には、2種類の血管を通して血液が流れ込む。一つは、小腸などの消化管の静脈と [1] からの血液が合流して流入する [2] で、小腸で吸収された [3] やアミノ酸などを豊富に含む。 [2] は、血液循環系の中では例外的に臓器に血液を供給する静脈である。もう一つの血管は肝動脈^①で、肝臓に酸素を供給する。2つの血管を流れる血液は、肝臓内の [4] と呼ばれる基本構造内で合流する。

肝臓は、血糖値の変化に応じて [3] からグリコーゲンを合成して肝細胞内に蓄積したり、タンパク質の分解により生じる有害なアンモニアを比較的毒性の低い [5] へと変えたりするはたらきがある。さらに肝臓では、 [1] で破壊された赤血球の主成分であるヘモグロビンが分解されて [6] ができる。 [6] は、肝細胞で処理されたのち、胆汁の成分と^②してその多くが便とともに体外に排出される。



問 1 文中の [1] ~ [6] に入る語を書きなさい。

問 2 下線①について、ヒト成体において静脈を通して血液が流れ込む臓器を、肝臓以外で1つ答えなさい。

問 3 下線②の排出経路について、図の [a] および [b] に入る器官の名称を書きなさい。

4 一次消費者である生物群 A, B, C と、二次消費者である生物群 D が、湖沼、草原または森林の 3 種類の生態系にそれぞれ生息し栄養段階を構成している。この生態系の物質収支に関して、生産者の総生産量はそれぞれ $500 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{年}$ (1 年あたり 1 cm^2 あたり 500 J) であり、生産者、一次消費者および二次消費者の現存量は、順に 100, 20, $5 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{年}$ であった。また、各生態系における生産者の呼吸量はいずれも $20 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{年}$ であり、生産者の純生産量に対する一次消費者の摂食量の割合は、それぞれ 11 %、22 % または 55 % のいずれかであった。さらに、一次消費者のエネルギー効率はいずれも 10 % であった。

生物群 A~D と生産者に関する以下の記述を読んで、次の問に答えなさい。

- 生物群 A には、木材のみを摂食するシロアリが主に含まれる。この昆虫は、腸内にセルロースを分解する多数の細菌を保有し、それらとの間で相利共生の関係を構築している。
- 生物群 B には、トノサマバツタが主に含まれる。
- 生物群 C には、植物界、動物界、菌界に属さない真核生物群が主に含まれる。
- 生物群 D には、水質浄化を担う軟体動物が主に含まれ、この生物群の同化量は $10 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{年}$ であった。

問 1 下線部①について、3 種類の生態系でその割合が大きく異なる理由を説明しなさい。

問 2 生物群 A の摂食量に対する同化量の割合を計算し、百分率で書きなさい。数値が小数の場合には、小数第 1 位を四捨五入しなさい。

問 3 生物群 A に含まれるシロアリは、下線部②とは別の細菌からタンパク質やアミノ酸の合成に必要な成分の提供を受けている。その細菌は大気中の成分を取り込んでシロアリに提供しているが、この作用を有する細菌を何と呼ぶか、書きなさい。

問 4 生物群 C に含まれる従属栄養生物の例を 1 つ書きなさい。

問 5 生物群 D のエネルギー効率を計算しなさい。数値が小数の場合には、小数第 1 位を四捨五入しなさい。

問 6 一次消費者の摂食量のうち、同化できなかった量に相当するものは、生態系の中で以後どうなるか、説明しなさい。

問 7 札幌市手稲区にあるバッタ塚^{づか}に建立された石碑^{せきひ}とその解説文によると、明治期の北海道において、十勝地方を流れる主要河川の大規模な氾濫^{はんらん}に端を発し、十勝地方でトノサマバッタの相変異が起きた。その結果、バッタの大群が札幌を含む道央から道南にまで飛来し、農作物の大規模な食害が発生した。

森林植生が極相であった十勝地方の河川周辺の生態系において、植生の変化からバッタの相変異に至るまでの過程を考察し、以下の用語をすべて用いて 100 字以内で説明しなさい。なお、バッタ塚とは、人為的に駆除したバッタの成虫や卵などを埋めた場所のことである。

用語：二次遷移，孤独相，密度

問 8 生物群 D が含まれる生態系では、栄養段階が上位の生物群に含まれる生物の多くは、下位の生物群に含まれる生物に比べて発達した受容器や効果器をもつ。その理由を生態ピラミッドにおけるエネルギーの流れに着目して考察し、75 字以内で説明しなさい。