

令和 8 年度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第1問 免疫に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

私たちのからだには、病原体などの異物の侵入を防いだり、侵入した異物を排除したりする様々な生体防御の仕組みが備わっている。これらのうち、侵入した異物を非自己として認識し排除する仕組みを免疫と呼ぶ。免疫では、体内を循環している体液中に存在する好中球、(1)、樹状細胞、リンパ球などの白血球が重要な役割を果たす。

免疫のうち、私たちが生まれながらにして有する仕組みを(2)といい、病原体などの異物を認識して食作用などにより排除する。例えば、皮膚に傷ができて細菌などに直接さらされるような状況になると、好中球、(1)、樹状細胞などが傷口周辺に集まる。細菌などの病原体は、これらの細胞の食作用によって細胞内に取り込まれ、主に(3)のような細胞小器官において分解・消化される。

(2)に対して、異物を特異的に認識し排除する仕組みを(4)といい、リンパ球のうちT細胞やB細胞が中心的な役割を担う。皮膚などにおいてウイルスや細菌などの病原体を取り込んだ樹状細胞は、細胞内で分解した病原体の断片を抗原として細胞表面に提示する。その後(5)に移動し、この抗原を認識するヘルパーT細胞やキラーT細胞を活性化して増殖を促す。ウイルスなどの病原体が細胞内に入り込んだ場合、感染した細胞が病原体の断片を細胞表面に提示し、これを認識したキラーT細胞が感染細胞を攻撃し死滅させる。死滅した細胞は、主に(1)の食作用によって取り込まれて排除される。このような一連の免疫機構は(6)と呼ばれる。キラーT細胞は、感染細胞だけでなく、がん化した自己の細胞も認識し攻撃することができる。一方、(7)という免疫機構では、ヘルパーT細胞とB細胞が中心的な役割を果たす。B細胞は、特定の抗原を認識して細胞表面に提示することができる。ヘルパーT細胞は、自身が認識するものと同じ抗原を提示しているB細胞を活性化して増殖と分化を促進する。このように活性化されたB細胞は(8)細胞と呼ばれ、特定の抗原に対する1種類の抗体のみを多量に作り出すことができる。

問1 (1)～(8)に入る適切な語句を答えよ。

問2 下線部(ア)に関して、このような免疫細胞が豊富に存在すると考えられる器官(組織)として、最も適切なものを以下の①～⑤から1つ選び番号で答えるとともに、そのように考える理由を述べよ。

- ① 心臓 ② 骨格筋 ③ 甲状腺 ④ 腸管 ⑤ 副腎皮質

問 3 下線部(イ)に関する以下の文章を読み、問に答えよ。

私たちのからだには、過剰な免疫応答を抑制したり、自己の抗原に対する免疫応答を抑制したりするための仕組みが存在する。例えば、キラー T 細胞の表面には、PD-1 という受容体が発現している。PD-1 が情報を受け取ると、キラー T 細胞の活性化が抑制される。ある種のがん細胞は、PD-1 に結合してキラー T 細胞の活性化を抑制する PD-L1 というタンパク質を細胞の表面に過剰に発現しており、これによりキラー T 細胞による攻撃を免れている。近年、キラー T 細胞の PD-1 に結合する抗 PD-1 抗体が、がんの治療薬として用いられている。以上の事柄をもとに、抗 PD-1 抗体ががんを抑制する仕組みとして考えられることを述べよ。

問 4 後天性免疫不全症候群(AIDS)を引き起こすヒト免疫不全ウイルス(HIV)は、遺伝情報の本体として DNA ではなく一本鎖 RNA を用いているウイルスであり、ヘルパー T 細胞などに感染し細胞内で増殖することで、これらの細胞を破壊することが知られている。これに関する以下の各問に答えよ。

(1) ヘルパー T 細胞に感染した HIV は、自身のゲノムをヘルパー T 細胞のゲノム中に組み込んで長い潜伏期間を過ごす。この際に HIV のゲノムに暗号化されている逆転写酵素が重要な役割を果たす。HIV のゲノムがヘルパー T 細胞のゲノム中に組み込まれる過程において、この酵素が必要な理由として考えられることを述べよ。

(2) HIV の増殖が進んだ AIDS 患者は、健康な人では発症しないような病原性の低い病原体に感染して発症することがある。このような感染を何と呼ぶか答えよ。

(3) AIDS 患者において、(2)のような感染が起こりやすい理由として考えられることを述べよ。

(4) AIDS の薬物治療が開始された初期の頃は、AIDS 治療薬(抗 HIV 薬)に対して耐性を示す HIV 株(薬剤耐性 HIV 株)の出現が問題になった。しかし近年では、薬が作用する仕組み(薬の標的となるタンパク質の種類)が異なる複数の抗 HIV 薬を組み合わせることで、薬剤耐性 HIV 株の出現を抑えることが可能になった。単一の抗 HIV 薬を服用するのに比べて、作用する仕組みが異なる複数の抗 HIV 薬を組み合わせる方が薬剤耐性 HIV 株の出現を抑えられる理由として考えられることを、「突然変異」という語を用いて述べよ。

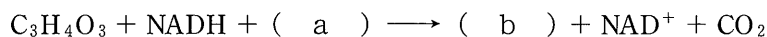
問 5 弱毒化または無毒化した病原体(すなわちワクチン)を予め接種しておくこと、病原体が実際に感染したときの発症を防いだり、発症しても症状を和らげたりすることができる。この仕組みについて、「記憶細胞」という語を用いて説明せよ。

第2問 エネルギー産生に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

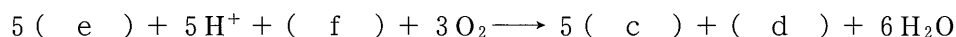
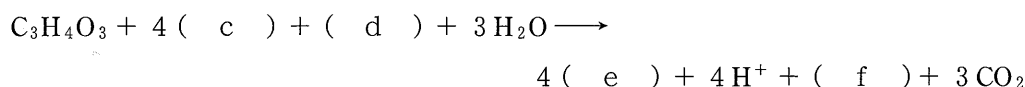
生物の生命活動では、エネルギーの受け渡しにATPが主に用いられている。ATPを生み出す中心的な仕組みが呼吸であり、有機物と酸素(O₂)を利用してATPが合成される。呼吸は主に、解糖系、クエン酸回路、電子伝達系の3段階の反応で説明される。まず解糖系では、細胞質基質において1分子のグルコース(C₆H₁₂O₆)から2分子のピルビン酸(C₃H₄O₃)が生じるが、この過程で2分子のNADHと、差し引き2分子のATPが得られる。ピルビン酸は、酸素が不足した環境では乳酸発酵やアルコール発酵に用いられる。一方、酸素が十分に存在する環境では、ピルビン酸はミトコンドリアのマトリックスへと運ばれてアセチル CoA と CO₂ に変換され、その過程でNADHが生じる。さらに、アセチル CoA がクエン酸回路により代謝されることで最終的にCO₂に変換され、その過程でNADHとFADH₂が生じる。またこのとき、1分子のピルビン酸あたり1分子のATPが生じる。解糖系やクエン酸回路で生じた還元型補酵素であるNADHやFADH₂は、電子伝達系において酸化される。このときに放出される電子は、ミトコンドリアの内膜に埋め込まれた複数のタンパク質複合体(呼吸鎖複合体)の間を次々と受け渡され、最終的にO₂の還元に使われてH₂Oが生じる。また、この電子が受け渡される過程で放出されるエネルギーにより、呼吸鎖複合体が水素イオン(H⁺)をミトコンドリアのマトリックスから膜間腔へと汲み出す。この電子の受け渡しとH⁺の汲み出しは共役しており、どちらか一方が阻害されるともう一方も起こらなくなる。こうして形成されたH⁺の濃度勾配に従って、H⁺がATP合成酵素内部のH⁺チャネルを通過して膜間腔からマトリックスへと戻る。これに伴って、ATP合成酵素がADPとリン酸からATPを合成する。

問1 下線部(ア)に関する以下の各問に答えよ。

- (1) 乳酸発酵とアルコール発酵のうち、CO₂が生じる反応はどちらか答えよ。
- (2) 以下に示した式は、(1)の反応をまとめたものである。式中の(a)と(b)に入る適切な化合物やイオンを化学式で答えよ。

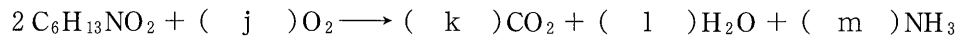
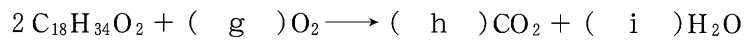


問2 次に示す2つの式は、クエン酸回路および電子伝達系の反応をまとめたものである。式中の(c)～(f)に入る適切な物質の名称を答えよ。



問 3 呼吸によりグルコースが H_2O と CO_2 に完全に代謝されるとき、1分子のグルコースから得られる ATP 分子の数はいくつになるか答えよ。ただし、1分子の NADH からは 2.5 分子の ATP が、1分子の FADH_2 からは 1.5 分子の ATP が得られるものとして計算すること。

問 4 次に示す 2 つの式は、オレイン酸 ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) もしくはロイシン ($\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_2$) を呼吸基質として用いたときの代謝反応をまとめたものである。式中の (g) ~ (m) に入る適切な数字を答えよ。



問 5 問 4 の式から、オレイン酸もしくはロイシンを呼吸基質として用いたときの呼吸商をそれぞれ計算し答えよ。ただし、答えは小数第 2 位を四捨五入し、小数第 1 位まで記入すること。

問 6 下線部(イ)に関して、電子伝達系により消費される酸素の量は、呼吸鎖複合体を流れる電子の量と比例関係にある。このことから、ミトコンドリアにおける酸素の消費量を測定することで電子伝達系の活性を推測することができる。これをふまえて以下の実験内容を読み、各問に答えよ。

2 種類のヒトの培養細胞(A 細胞および B 細胞とする)を用意し、特殊な装置を用いて時間あたりに細胞が消費する酸素の量(酸素消費量)を測定した。さらに、以下に示す作用の異なる 2 種類の化合物(化合物 X および化合物 Y とする)を培養細胞に処置し、そのときの酸素消費量を測定した。図 1 は、同じ数の A 細胞および B 細胞における、化合物を処置していないとき(無処置)の酸素消費量および各化合物を処置したとき(化合物 X もしくは化合物 Y)の酸素消費量を示したグラフである。

化合物 X — ミトコンドリア内膜に存在する ATP 合成酵素の機能を阻害することで、ATP 合成酵素を介した H^+ の移動を抑制する。

化合物 Y — ミトコンドリア内膜自体の H^+ 透過性を高めることで、タンパク質を介さない H^+ の受動輸送を促進する。

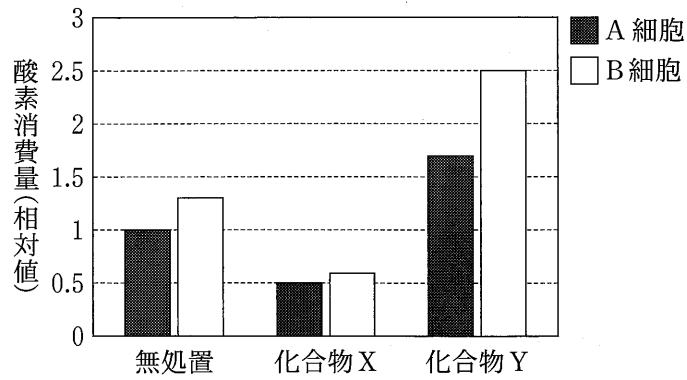


図 1

- (1) A細胞に化合物Xもしくは化合物Yを処置したとき、図1のような酸素消費量になる理由として考えられることを、「 H^+ の濃度勾配」という語句を用いて述べよ。

- (2) A細胞とB細胞とを比べて、ATPを合成する能力にどのような違いがあると考えられるか、そのように考える理由とともに述べよ。

第3問 植物ホルモンに関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

植物は、環境の変化を感知して体内で情報を伝達することで環境に応答している。植物ホルモンであるオーキシンは、この情報伝達に関わる物質の一種である。オーキシンは細胞内で(1)と結合する。このオーキシンと(1)の複合体は、特定の調節タンパク質(転写調節因子)の存在量を変化させることで、様々な遺伝子の発現を促進または抑制している。その結果として、茎の細胞では細胞壁の(2)繊維間をつなぐ構造の結合を切る酵素の活性が高くなり、細胞壁の構造がゆるんで細胞の体積が増加する。植物ホルモンである(3)が作用すると(2)繊維が茎の頂端-基部軸方向に対して平行に並ぶようになり、オーキシンが共に作用することで茎が太くなる。一方、植物ホルモンである(4)が作用すると(2)繊維が茎の頂端-基部軸方向に対して垂直に並ぶようになり、オーキシンが共に作用することで茎が伸長する。

植物の芽生えにおいて、オーキシンは茎の頂端で合成されて基部の方向に移動する。この移動には、オーキシンの細胞への取り込みを促進する取り込み輸送体と、オーキシンの細胞からの排出を促進する排出輸送体が関わっている。一方、根においては、オーキシンは中心柱を^(イ)通って頂端方向に移動し、根冠に到達すると今度は皮層の方向に移動したのちに皮層を基部方向に移動する。

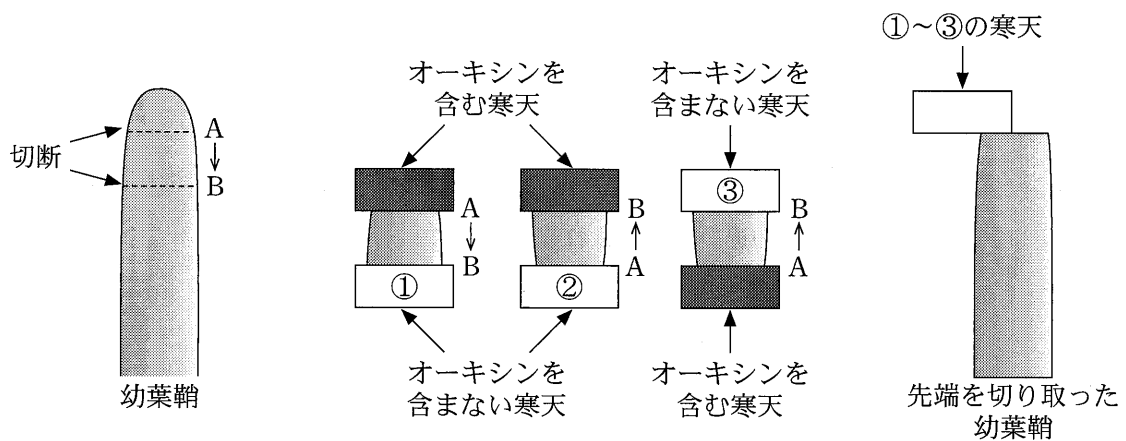
植物の芽生えを茎が水平になるように保持すると、オーキシンが重力方向に移動し、やがて茎は上方に、根は下方に屈曲する。このような性質を(5)という。このとき植物は、細胞小器官であるアミロプラストにより重力を感知している。重力方向へのアミロプラストの移動に伴い細胞膜におけるオーキシン輸送体の分布が変わることで、オーキシンの移動方向が変化する。

問1 (1)~(5)に入る適切な語句を答えよ。

問2 下線部(ア)に関して、細胞の体積が増加する理由を述べよ。

問 3 下線部(イ)に関する次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

オーキシンの移動特性を調べるために、図2のような実験を行った。まず、マカラスムギの幼葉鞘を2か所で切断し、得られた切片を切り出した方向のまま、もしくは上下を逆にして寒天で挟んで垂直に保ったまま放置した。このとき、切断面の一方には十分な濃度のオーキシンを含む寒天を、他方にはオーキシンを含まない寒天(①~③)を置いた。数時間後、オーキシンを含ませなかった①~③の寒天を取り出し、それぞれを頂端を切り取った新たな幼葉鞘の片側に載せた。さらに一定時間が経過した後にこれらの幼葉鞘を観察したところ、茎が屈曲したものと屈曲しなかったものが生じた。



注) 図中の A→B は、茎の頂端から基部への方向を示している。

図 2

- (1) ①~③の寒天のうち、幼葉鞘を屈曲させなかったものはどれか、当てはまるものを全て選び番号で答えよ。
- (2) (1)のような結果となる理由には、オーキシンの移動特性が関係している。この特性について、「重力」という語を用いて説明せよ。

問 4 下線部(ウ)にあるオーキシンの輸送体に関して、オーキシンの移動特性にとって重要な特徴を説明する文として、最も適切なものを以下の①～⑤から1つ選び番号で答えよ。

- ① 茎の内部組織の細胞において、取り込み輸送体が細胞膜の外側にあり、排出輸送体が細胞膜の内側にある。
- ② 茎の内部組織の細胞において、取り込み輸送体が基部側の細胞膜に偏って存在している。
- ③ 茎の内部組織の細胞において、排出輸送体が基部側の細胞膜に偏って存在している。
- ④ 茎の内部組織の細胞において、取り込み輸送体のみが能動輸送を行なっている。
- ⑤ 茎の内部組織の細胞において、排出輸送体のみが能動輸送を行なっている。

問 5 下線部(エ)に関する以下の各問に答えよ。

- (1) 図3は、ある植物の茎と根のオーキシンの感受性の違いを示している。この植物から茎と根を切り取り、図中のAまたはBの濃度のオーキシンを加えて培養したとき、茎と根でどのような成長の違いが観察されるかを述べよ。

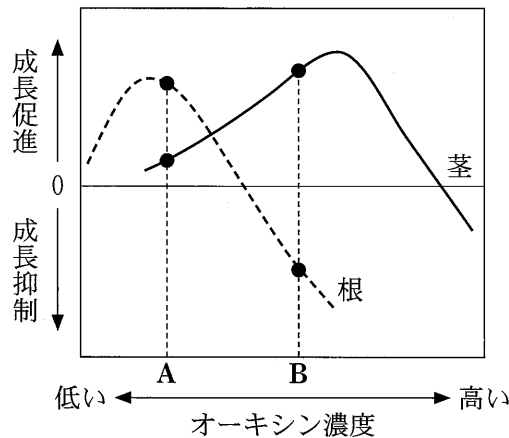


図3

- (2) 図3から、この植物を茎が水平になるように置いたとき、茎が上向きに、根が下向きに屈曲する仕組みを説明せよ。

問 6 下線部(オ)に関する次の実験内容を読み、以下の各問に答えよ。

正常なシロイヌナズナ(野生型)と、デンプンの合成に関与する遺伝子に変異をもつシロイヌナズナ(変異型)を用意した。これらの芽生えを図4のように遠心分離機に入れて5分間回転させることで、芽生えの茎に対して垂直方向に重力の10倍($\times 10$)または30倍($\times 30$)の遠心力を加えた。その後、遠心分離機から取り出した芽生えを地面に対して垂直方向に静置し、60分後に茎の屈曲角度 θ を測定した(図5)。また、遠心分離操作の前後で、茎の細胞内におけるアミロプラストの分布を観察した。1つの細胞をI~IVの4つの区画に分け、各区画に存在するアミロプラストの分布比率を測定した(図6)。

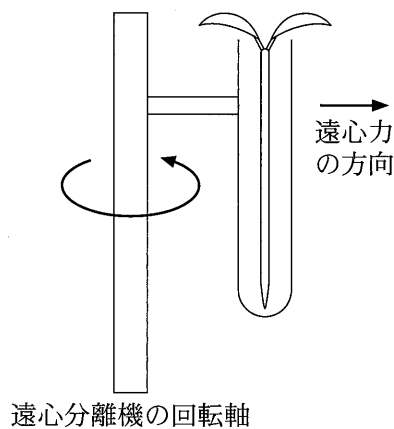
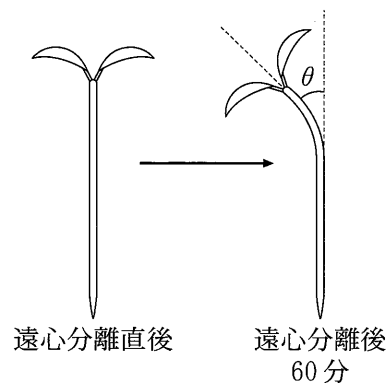
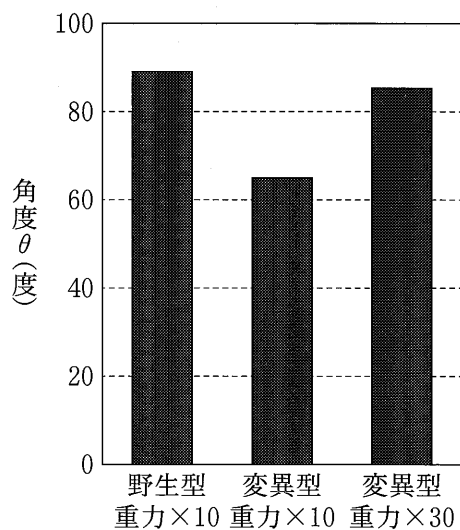


図 4



注) 図中では、根の屈曲は考慮していない。

図 5

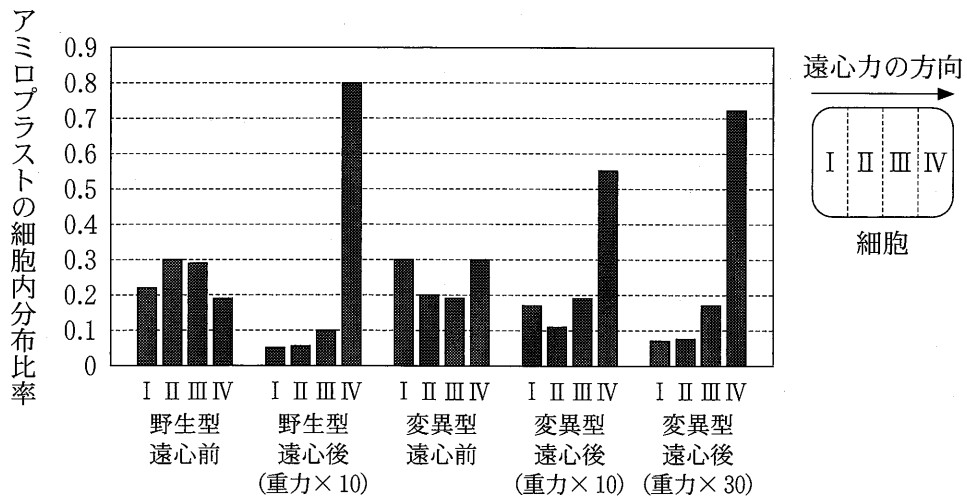


図 6

- (1) 遠心分離操作によるアミロプラストの細胞内分布の変化と、茎の屈曲との関係を説明する文として、最も適切なものを以下の①～④から1つ選び番号で答えよ。
- ① アミロプラストは遠心分離機の回転軸に対して外側方向に偏り、茎は回転軸に対して外側方向に屈曲する。
 - ② アミロプラストは遠心分離機の回転軸に対して内側方向に偏り、茎は回転軸に対して外側方向に屈曲する。
 - ③ アミロプラストは遠心分離機の回転軸に対して外側方向に偏り、茎は回転軸に対して内側方向に屈曲する。
 - ④ アミロプラストは遠心分離機の回転軸に対して内側方向に偏り、茎は回転軸に対して内側方向に屈曲する。
- (2) 遠心分離操作によるアミロプラストの分布変化について、野生型と比べて変異型のシロイヌナズナではどのような違いがあるかを述べよ。
- (3) 実験に用いた変異型シロイヌナズナでは、デンプンの合成能力が低下していることが知られている。図5および図6の結果から、デンプンの合成能力が、遠心分離操作に対する屈曲応答に影響を与える理由として考えられることを述べよ。