

令和3年度入学試験問題

生 物

注 意 事 項

1. この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけません。
2. 解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答はすべての解答用紙の指定されたところに記入下さい。それ以外の場所に記入された解答は、採点の対象となりません。解答用紙は5枚あります。
3. 本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入下さい。氏名を書いてはいけません。
4. この問題冊子は、表紙を含めて12ページあります。問題は4ページから9ページにあります。ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、監督者に申し出下さい。
5. 問題冊子の余白等は適宜利用しても構いませんが、どのページも切り離してはいけません。
6. この問題冊子は持ち帰り下さい。

1 次の文章を読み、問に答えよ。

卵巣内において、顆粒膜細胞に包まれているマウス卵母細胞は、第一減数分裂前期で減数分裂を停止しているが、直径が約 0.1 mm になるまでは成長し続ける。脳下垂体から血液中に放出された黄体形成ホルモンが顆粒膜細胞の受容体に結合すると、成長した卵母細胞は 1 時間以内に減数分裂の再開に関わる反応を開始し、数時間後には極体を放出した後、排卵される。ただし、卵母細胞そのものはこの受容体をもたない。

黄体形成ホルモンのはたらきを調べるために、以下の実験 1～3 を行った。なお各実験では、血液中の黄体形成ホルモン濃度が低い時期のマウス卵巣から顆粒膜細胞に包まれた卵母細胞(ただし直径が約 0.1 mm までに充分成長したもの)を取り出して用いた。

実験 1 顆粒膜細胞を除いた卵母細胞を、黄体形成ホルモンを含まない培養液中で培養した。
結果：数時間後に第一極体を放出した。

実験 2 顆粒膜細胞に包まれた卵母細胞を、黄体形成ホルモンを含まない培養液中で培養した。
結果：第一減数分裂前期で減数分裂は止まったままであった。

実験 3 顆粒膜細胞に包まれた卵母細胞を、黄体形成ホルモンを含む培養液中で培養した。
結果：数時間後に第一極体を放出した。

次に、上記の実験条件下で、卵母細胞内に含まれる様々な物質について、その濃度を測定した。その結果、cAMP の濃度が実験 2 の場合のみ高くなっていた。なお、cAMP の濃度測定は、卵母細胞、または顆粒膜細胞に包まれた卵母細胞を体内から取り出したのち、速やかに培養を開始してから 1 時間後に行っており、この条件下であれば cAMP の自然分解は無視できる。

問 1 実験結果から、マウスの黄体形成ホルモンによる排卵制御について、次のモデル 1 を考えた。

・黄体形成ホルモンが存在しないとき

顆粒膜細胞のシグナル→卵母細胞内の cAMP 濃度の増加→極体放出阻害→排卵阻害

・黄体形成ホルモンが存在するとき

黄体形成ホルモン→顆粒膜細胞のシグナルの変化→卵母細胞内の cAMP 濃度の減少→極体放出→排卵

モデル 1 黄体形成ホルモンによる排卵制御

モデル1のcAMP濃度の増加や減少が極体放出に及ぼす影響を調べるためには、培養液中にcAMPを添加し卵母細胞内のcAMP濃度を人工的に変動させることが考えられる。しかし、cAMPは細胞膜不透過性である。そこで細胞膜を透過して細胞に入ることができ、かつ、cAMPと同等な生理作用をもつジブチリルcAMP(dbcAMP)を代わりに用いることにした。dbcAMPを用いて、どのような実験を行い、どのような実験結果が得られれば、モデル1が正しそうであると主張できるかを、対照実験も含めて述べよ。ただし、培養液中のdbcAMPの濃度は卵母細胞内の濃度に反映されるものとする。

問2 マウスの系統に、タンパク質Xの遺伝子が突然変異によって機能しない系統がある。この系統の雌マウスでは、卵巣内で顆粒膜細胞に包まれた卵母細胞は、黄体形成ホルモンの刺激がなくても極体を放出してしまう。野生型のマウスでは、このタンパク質Xは卵母細胞内で発現していた。そこで、卵母細胞内でタンパク質Xがはたらいていると想定し、以下の新たなモデル2を考えた。

・黄体形成ホルモンが存在するとき

黄体形成ホルモン→顆粒膜細胞のシグナル変化→卵母細胞内のタンパク質Xの活性阻害→卵母細胞内のcAMP合成酵素の活性化が起きない→卵母細胞内のcAMP濃度の減少→極体放出→排卵

モデル2 黄体形成ホルモンによる排卵制御

- (1) 突然変異をもとにしたモデル2では、タンパク質Xはどのような機能をもっていると想定しているか、述べよ。
- (2) 黄体形成ホルモンが存在しないとき、モデル2はどのように表されるか、上のモデル2にならって記せ。

問3 その後の実験で、タンパク質Xの機能喪失変異体ではcAMP濃度が減少し排卵が起こったが、野生型マウスではタンパク質Xは恒常的に活性化している酵素であり、黄体形成ホルモン刺激があってもその酵素活性は変化しないことが判明した。したがって、モデル2を変更する必要がある。そこで新たなモデル3を考えた。モデル3は黄体形成ホルモンが存在しないときの状態である。黄体形成ホルモンが存在するとき、モデル3はどのように表されるか、下のモデル3にならって記せ。

・黄体形成ホルモンが存在しないとき

顆粒膜細胞のシグナル→卵母細胞内のcAMP分解酵素の不活性化→卵母細胞内のcAMP濃度の増加→極体放出阻害→排卵阻害

モデル3 黄体形成ホルモンによる排卵制御

2 次の文章を読み、問に答えよ。

ヒトの細胞は、血液中のグルコースを活動のためのエネルギー源としており、血液中のグルコース濃度(血糖値)は一定の範囲に保たれている。

食事により血糖値が上昇すると、(ア)の血糖調節中枢がこれを感じ、(イ)を介してすい臓の(ウ)に存在する(エ)細胞から(オ)が分泌される。血糖値の上昇はすい臓でも直接感知され、(オ)が分泌される。(オ)の作用により、全身の細胞でグルコースの取り込みが促進され、肝臓や筋肉ではグルコースは(カ)として貯蔵される。このようにして(オ)は上昇した血糖値を低下させる。(オ)による血糖値低下作用が破綻するなどの原因により、慢性的に血糖値が高くなる病気が糖尿病である。^①

一方、運動や飢餓によって血糖値が低下すると、(ア)の血糖調節中枢がこれを感じ、(キ)を介してすい臓の(ウ)に存在する(ク)細胞から(ケ)が分泌される。(キ)を介した信号は副腎髄質にも伝わり、(コ)が分泌される。(ケ)と(コ)は、肝臓を刺激して(カ)をグルコースに分解することにより血糖値を上昇させる。これとは別の経路として、(ア)の血糖調節中枢は脳下垂体前葉も刺激して、副腎皮質刺激ホルモンの分泌を促す。これにより、副腎皮質から(サ)が分泌される。(サ)によりタンパク質からのグルコースの合成が促進され、血糖値が上昇する。血糖値の低下はすい臓でも直接感知され、(ケ)が分泌される。

このようにホルモンと自律神経が共同して、血糖値が上昇すると低下させるように、血糖値が低下すると上昇させるように、^②(シ)による調節を行っている。

問1 (ア)～(シ)に入る適切な語句を答えよ。

問2 下線部①に関連して、ヒトで糖尿病が発症する代表的な仕組み2つを、それぞれ70字以内で説明せよ。

問3 下線部②に関連して、自律神経は血糖値の調節以外にも様々な体内環境の調節を行っている。解答用紙の表の空欄に入る適切な語句を次の語群から1つずつ選んで記入し、(イ)と(キ)の作用をまとめよ。

語群：拡大、縮小、促進、抑制、拡張、収縮、上昇、低下

3 次の文章を読み、問に答えよ。

環境などの変化により、植生も時間とともに変化していく。この変化を(ア)という。(ア)には、元々の植生がない裸地からはじまる(イ)と、何らかの攪乱により以前の植生がなくなってからはじまる(ウ)がある。一般的に、(イ)と(ウ)の進行速度を比べると遅い方は(エ)である。(ア)が進行し、これ以上変化しないと考えられる状態を(オ)という。

(ア)のある時点における単位面積内の生物体の乾燥重量を(カ)という。また植物(生産者)がつくった有機物の単位面積内の総量を(キ)、(キ)から単位面積内の(ク)を引いたものを純生産量という。植物(生産者)による(キ)は、消費者による被食や枯死によって減少する。この減少分を純生産量から引いた残りが(ケ)となる。

問1 文中の(ア)～(ケ)に入る適切な語句を答えよ。ただし、同じ語句が入る場合もある。

問2 下線部①の理由を100字程度で答えよ。

問3 次の文章は生態系におけるエネルギーの流れの一例を示したものである。文中の(1)～(4)に入る数値を答えよ。

ある生態系において、 $400,000 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ の太陽放射エネルギーが地表に届いたとする。生産者のエネルギー効率が0.1%の場合、生産者の総生産量は(1) $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ となり、そのうちの90%が純生産量と考えられる。次に一次消費者のエネルギー効率が15%であるとする、一次消費者の同化量は(2) $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ となり、そのうちの60%が生産量になる。高次の栄養段階である二次消費者のエネルギー効率が20%であるとする、二次消費者の同化量は(3) $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ となり、そのうち成長量、被食量、死滅量の合計は $10 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ となった。以上の条件の場合、生産者・一次消費者及び二次消費者から大気に放出される熱エネルギーは(4) $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ となる。

4 次の文章を読み、問に答えよ。

植物は、生育場所の環境に応じて形態などを変化させ成長や生殖を行っている。植物の形態形成は植物ホルモンとよばれる一群の物質によって調節されている。また光によっても調節を受けており、光形態形成とよばれる。種子の成熟と発芽にも以下のように植物ホルモンや光の関与が知られている。

植物の種子は成熟するときには植物ホルモンである(ア)の含有量が増え、貯蔵物質が蓄積し、乾燥耐性を獲得し休眠に入る。休眠期間中に(ア)は少しずつ減少する。

① 植物の種子には休眠から目覚めるのに低温を必要とするものもある。こうした種子は湿潤状態で長い期間(数日～数ヶ月)、低温(0～5℃)にさらされることで、初めて発芽可能になる。

発芽能力を有する種子において発芽の条件がそろると、(ア)とは別の植物ホルモンである(イ)が盛んに合成され始める。^②一方、すでにある程度低下していた種子中の(ア)の含有量は、吸水後、急激に減少する。そして、(イ)の含有量が高まり、そのはたらきが発芽を抑制しようとする(ア)を上回ると、発芽に必要な様々な反応が引き起こされる。

③ オオムギでは(イ)が合成されると、胚乳に蓄積されているデンプンが分解され、種子の発芽のために使用される。

また、種子には、発芽に光を必要とするものがある。このような種子は、^④光発芽種子とよばれる。一方、光が発芽を抑制する種子もあり^⑤暗発芽種子とよばれる。光による発芽を制御している光受容体は(ウ)である。

問1 種子の成熟・休眠と発芽を制御している植物ホルモン(ア)と(イ)は何か答えよ。

問2 下線部①に関連して、休眠の打破に低温が要求される生物学的な意義を80字程度で説明せよ。

問3 下線部②に関連して、発芽の条件として、光以外の3つの条件を答えよ。

問4 下線部③に関連して、以下の問に答えよ。

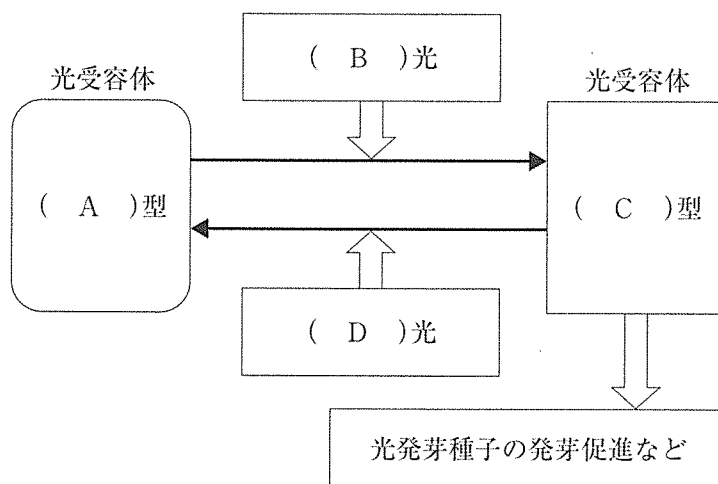
- (1) オオムギで植物ホルモン(イ)は種子のどこで合成されるのか答えよ。
- (2) デンプンを分解する酵素は何か答えよ。
- (3) 種子のどの部位で(2)の酵素が合成されるのか答えよ。

問5 下線④, ⑤に関連して以下の問に答えよ。

- (1) 解答用紙に示した植物を光発芽種子, 暗発芽種子のどちらかに分類せよ。光発芽種子には植物名の後に(光)を, 暗発芽種子には植物名の後に(暗)と記入せよ。
- (2) 光発芽種子の特徴は, 発芽後植物が生き残るために都合がよい。どのように都合がよいのか60字程度で説明せよ。

問6 光発芽に関与する光受容体(ウ)は何か答えよ。

問7 光受容体(ウ)の発芽促進に関する模式図を下に示した。図中の(A)~(D)に入る語句を答えよ。



問8 光発芽種子は林冠の閉鎖した森林の林床のように他の植物によって光が遮られる環境では発芽できない。このことを問7の模式図を参考にして100字程度で説明せよ。