

理 科

＜監督者の指示があるまで開いてはいけない＞

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 記入中でない解答用紙は必ず裏返しにしておきなさい。
7. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

問 題 目 次

物 理	1 ~ 7	ページ
化 学	8 ~ 16	ページ
生 物	17 ~ 30	ページ

生 物

1. 発酵と呼吸に関する各問いに答えよ。

1. 解糖系は、8～9種類の間代謝産物を経てグルコース(C₆-1)がピルビン酸(C₃-6)に代謝される反応経路であり(図1)、乳酸発酵やアルコール発酵にも関与する。ある植物の解糖系、乳酸発酵、アルコール発酵に必要なすべての酵素(13種類)のタンパク質をバイオテクノロジーの技術を用いて1つずつ作製し、氷冷下に保存した。各酵素溶液の一部を試験管に移し、基質と反応に必要な「金属などの無機物や有機物」を加え、25℃で保温したところ30分以上にわたり生成物がつくられ、各々が活性をもつことが確認された。そこで各酵素液を用いて以下の実験1～6を行った。なお、すべての実験において、上述の金属とともに無機リン酸とアルコール発酵に必要なチアミンピロリン酸を反応液に添加し、さらに緩衝液を加えて中性の条件で反応を開始した。また、各実験で使用した有機物A、有機物B、有機物Cは、図1の間代謝産物やピルビン酸とは異なる物質である。

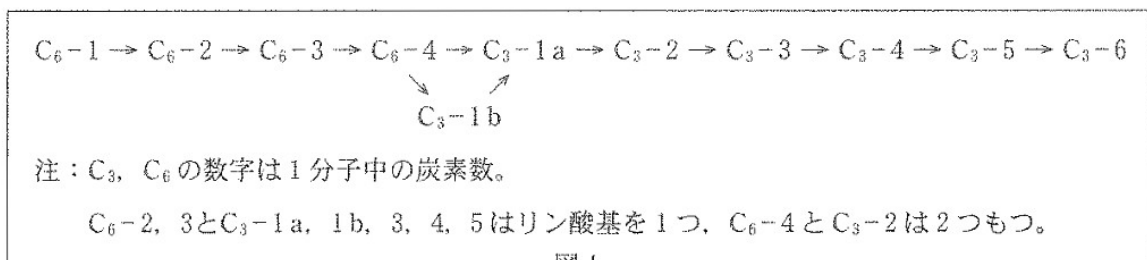


図1

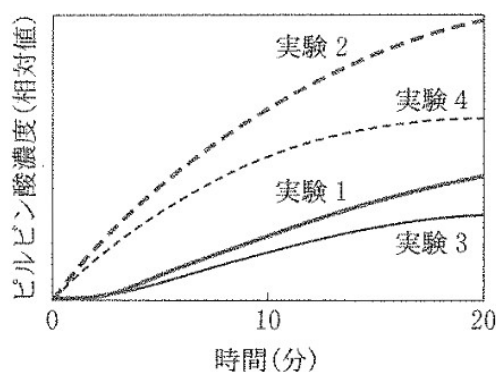


図2

実験1. 解糖系を構成するすべての酵素(10種類)の溶液を混合後、グルコースを加え、さらに解糖系の酵素反応に必要な有機物A、有機物Bを添加後、25℃に保温した。その結果、1分以内にピルビン酸がつくられ、濃度が増加した(図2の太い実線)。

実験 2. 実験 1 と同じ反応液に有機物 C を追加して添加し、他はすべて同じ条件で反応させた。その結果、1 分以内にピルビン酸がつくられ、濃度が増加した(図 2 の太い点線)。

実験 3. 実験 1 の反応条件の中で有機物 A の濃度だけを 10 % に減らし、他はすべて同じ条件で反応させた。結果は、図 2 の細い実線に示した。

実験 4. 実験 2 の反応条件の中で有機物 A の濃度だけを 10 % に減らし、他はすべて同じ条件で反応させた。結果は、図 2 の細い点線に示した。

実験 5. 解糖系、乳酸発酵、アルコール発酵を構成する 13 種類の酵素液を試験管内で混合後、実験 1 と同量のグルコース、有機物 A、有機物 B を加え、25℃ に保温した。その結果、1 分以内に乳酸が検出され、10 分後からエタノールがつくられ始めた。

実験 6. 実験 5 の反応液の中から有機物 B だけを除き、他はすべて同じ条件で反応させた。その結果、図 1 の中間代謝産物、ピルビン酸、乳酸、エタノールはどれもつくられなかった。

問 1. 下線部のバイオテクノロジーの技術では、大腸菌や酵母を用いて目的のタンパク質をつくる。この方法に関する以下の文章のア～エの に入る適切な語句を答えよ。

大腸菌を使って他の生物のタンパク質をつくるには、まずそのタンパク質のアミノ酸配列に対応した塩基配列を含む DNA を用意する。次にその DNA から ア を用いて必要な領域を切り出し、 イ を使ってこれを ウ に組み込む。その後、この ウ を大腸菌に導入してタンパク質を発現させる。ただし、動植物の遺伝子をそのまま上述の方法で大腸菌内に移しても、大半の遺伝子は エ を含むため、翻訳の途上で 1 次構造が想定外のものとなる可能性が高い。

問 2. 実験 1 と実験 2 の結果(図 2)を比較すると、前者よりも後者の方がピルビン酸濃度の増加率が高かった。この理由を説明する次の文章の に入る適切な物質を図 1 から選び記号で答えよ。

実験 2 では有機物 C を加えることで 以降の反応が促進され、実験 1 よりも効率的にピルビン酸が生成された。

問 3. すべての実験の結果にもとづいて、有機物 A、有機物 B、有機物 C の名称を答えよ。

問 4. 実験 5 の結果を検証するため、緩衝液の緩衝作用を弱めた条件で同じ実験を行ったところ、乳酸は実験 5 と同じ時間経過で検出されたが、エタノールの生成は早まり、反応開始の 3 分後からつくられるようになった。これらの結果から、アルコール発酵が乳酸発酵よりも遅れて起こる理由を述べよ。

II. 酵母は乳酸発酵に必要な遺伝子を欠くが、遺伝子組換え技術によって2種類の遺伝子を細胞内に導入して発現させたところ、好気的な環境での培養を維持しながら、効率的に乳酸が得られるようになった。すなわち、定期的に培地を交換することで、酵母を集めて破碎することなく、生成された乳酸の大半を培養液から回収できるようになった。またその際、酵母は良好に増殖し、細胞死などの異常は認められなかった。この遺伝子組換え酵母がどのような代謝経路を使ってグルコースを分解しているか調べるため、以下の1)~4)の手順で実験を行った。

- 1) 図3に示した容器を2つ用意し、一方の容器Aの副室には水、もう一方の容器Bの副室には水酸化カリウム溶液を入れた。
- 2) 炭素栄養源としてグルコースだけを含む培地に遺伝子組換え酵母を懸濁した。
- 3) この酵母懸濁液1Lをよく混ぜてから、容器Aと容器Bの各主室に半量ずつ入れた。
- 4) 培養時の温度を25℃に制御した装置を利用して、両容器の酵母を同一の条件で同じ時間だけ培養した。

その結果、着色液の位置の移動量から算出した容器内の気体の体積は、容器Aにおいて28 mL増加し、容器Bにおいて50.4 mL減少した。また、培地のグルコースは両容器とも容器あたり254 mg消費された。

原子量はC=12, H=1, O=16, 気体1 molの体積は22.4 Lとして各問いに答えよ。

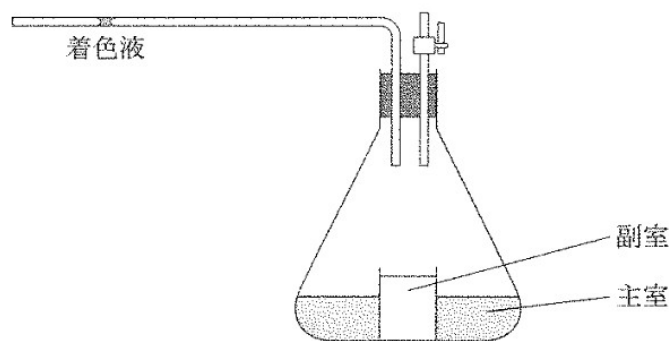
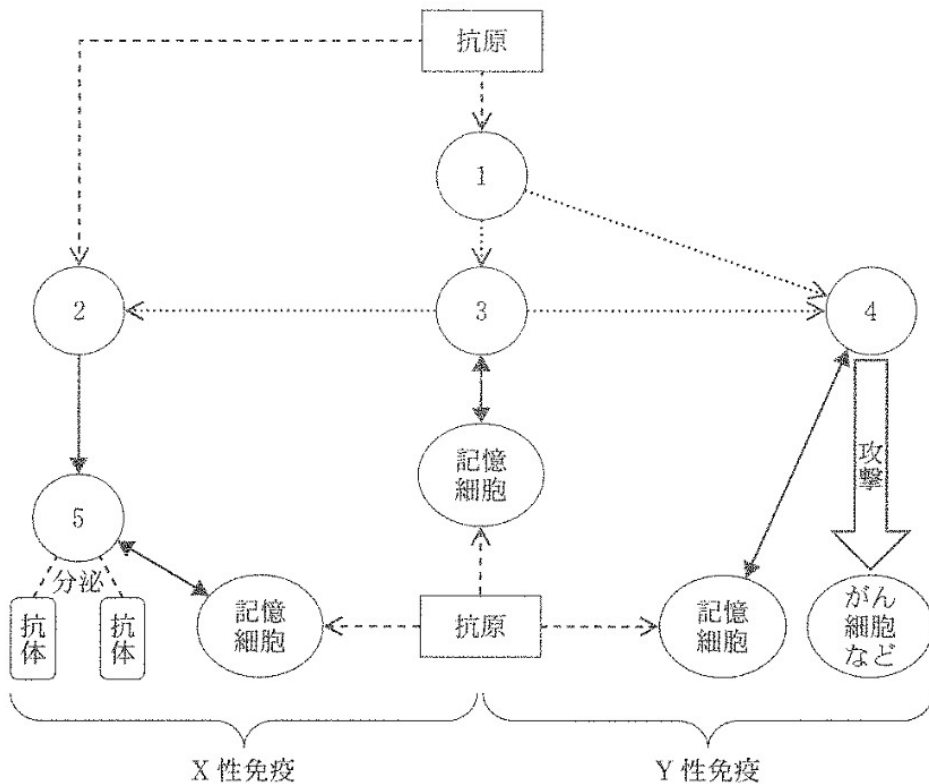


図3

- 問 5. 下線部の 2 種類の遺伝子のうち、1つはピルビン酸を乳酸に代謝する酵素の遺伝子である。もう一方の遺伝子によってつくられるタンパク質の機能を答えよ。
- 問 6. この培養で発生した二酸化炭素は容器あたり何 mg か答えよ。
- 問 7. 呼吸によって減少したグルコースは容器あたり何 mg か答えよ。
- 問 8. 培養後の培地の乳酸濃度は最大何 mmol/L か。小数第 3 位を四捨五入して答えよ。

2. 生体防御に関する各問いに答えよ。

ヒトの身体は、体内に侵入した異物を認識して排除する免疫のしくみによって守られている。免疫はその機構により、自然免疫と獲得免疫に分けられる。自然免疫では、好中球や **ア** がアメーバ運動により動き回り、体内に侵入した異物を食作用により消化・分解する。これらの細胞は細胞膜上にいくつかの種類 **イ** をもつこと^②で、ウイルスや細菌に特有の成分を認識している。感染部位においては、異物を取り込んだ **ア** などから情報伝達物質が分泌され、炎症などの反応が起こる。一方、自然免疫で処理しきれなかった異物に対する生体防御として獲得免疫が機能する。獲得免疫には **X** 性免疫と **Y** 性免疫があり、その過程の概略を下図に示した。



(注) 説明書きのない矢印の意味は以下のとおり。

- 細胞の分化や変化
-→ 細胞間の情報伝達
- 抗原刺激または抗原の取り込み

- 問 1. 文中のアおよびイの に入る適切な語句を答えよ。
- 問 2. 下線部①において細胞の運動に関与する細胞骨格を答えよ。
- 問 3. 下線部②の食作用において消化・分解を行う細胞小器官の名称を答えよ。
- 問 4. 次の A～E の文章のうち正しいものを選び記号で答えよ。
- A. 自然免疫は脊椎動物に特有の現象である。
 - B. 自然免疫には T 細胞が必要である。
 - C. 自然免疫に抗体は関与しない。
 - D. 自然免疫ではウイルスに感染した細胞も除去される。
 - E. 自然免疫は 2 回目の感染の時に強く起こる。
- 問 5. 図中の 1～4 に該当する細胞の名称を 1 つずつ記入せよ。
- 問 6. 図中の Y 性免疫の Y に入る適切な語句を解答欄 I に記入し、それと関係が深いものを次の A～D からすべて選び解答欄 II に記号で答えよ。
- A. ツベルクリン反応
 - B. 不活化ワクチンによる予防接種
 - C. 血清療法
 - D. 臓器移植時の拒絶反応
- 問 7. 次の文章のアおよびイの に入る適切な語句を記入せよ。
- 抗体は病原体などの異種の抗原と結合することによってこれを ア する。また抗体が結合した抗原は イ などの細胞によって認識されやすくなり排除される。
- 問 8. マウスの主要組織適合抗原 (MHC) 分子は第 17 染色体上にある 5 つの遺伝子群によってつくられる。それぞれの遺伝子には多くの対立遺伝子が存在する。ある MHC 遺伝子の組み合わせを持つ純系個体の雄に、それとは異なる MHC 遺伝子の組み合わせを持つ純系個体の雌を交配させて、次世代マウス (F_1) を得た。次にこれらの個体を用いて皮膚の移植実験を行った。次の A～E の実験のうち皮膚が生着するものをすべて選び、記号で答えよ。
- A. 雄親の皮膚を F_1 に移植した。
 - B. 雌親の皮膚を F_1 に移植した。
 - C. F_1 の皮膚を雄親に移植した。
 - D. F_1 の皮膚を雌親に移植した。
 - E. 雄親の皮膚を雌親に移植した。
- 問 9. 次の文章の下線部の現象はどのような機構で起こるのか説明せよ。
- 1 つの B 細胞は 1 種類の抗体しかつくりえないため、体内には膨大な種類の B 細胞が用意されている。ある抗原が体内に侵入すると、その抗原に対応する B 細胞のみが増殖・分化して抗体をつくるようになる。

3. 感覚と学習に関する各問いに答えよ。

1. ヒトは聴覚が正常であれば、20 Hz(注)の低音から 20000 Hz の高音までの範囲の音を聞き取ることができる。オーディオメータを用いた一般的な聴覚の検査では、防音室でヘッドホンを装着した被験者に対して、周波数 125~8000 Hz の電子音を 0~100 デシベルの強さで断続的に繰り返し聞かせ、聞き取れた音の周波数と強さから聴力を判定する。3名の成人男性(被験者 A~C)の右耳を対象とした検査の結果から、各周波数において聞き取れた音の強さの最小値を求めて図1のグラフに示した。音の強さの目安については表にまとめた。

(注) Hz(ヘルツ)は音などの周波数の単位で1秒間の振動数を表す。

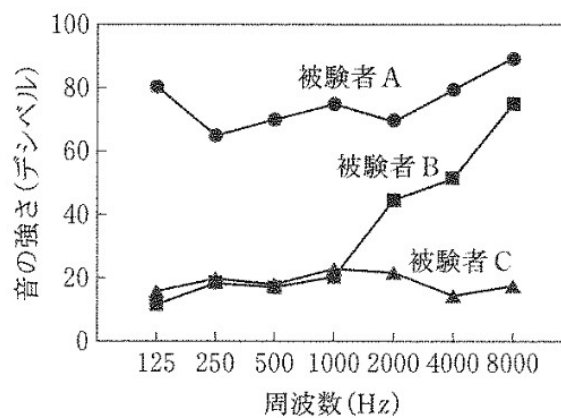


図1

デシベル	音の強さの目安
100	電車通過時のガード下, 自動車のクラクション
90	大声による独唱, 騒々しい工場内, 番犬の鳴き声
80	ピアノの音, 窓を開けた地下鉄の車内
70	騒々しい街頭, 掃除機の音
60	普通の会話, チャイム, 時速 40 km で走る自動車の車内
50	エアコンの室外機, 静かな事務所
40	静かな住宅地, 深夜の市内, 一般的な図書館
30	ささやき声, 深夜の郊外
20	寝息, 木の葉のふれあう音
10	呼吸音

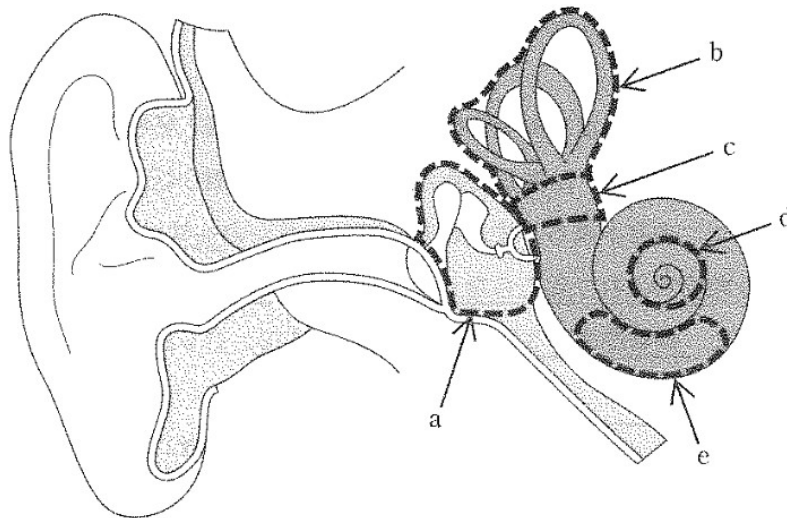


図2

- 問 1. 被験者A～Cの聴力を図1の結果にもとづいて分析し、何らかの異常があると判断される場合、その内容を各被験者の欄に答えよ。特に異常が認められない場合は、「異常なし」と記すこと。
- 問 2. 耳の内部の構造を示した図2の部位a～eの名称をそれぞれの解答欄に答えよ。また、各部位が担う機能が損なわれることで生じる「感覚の異常」が問1で答えた被験者A～Cの異常と一致する場合、該当する被験者の記号を解答欄の()内に記せ。
- 問 3. 聴覚に関する次の文章のアおよびイの に入る適切な語句を答えよ。
 音波に由来する内耳の ア の振動は基底膜の振動に変換され、 イ 器の聴細胞を興奮させる。この興奮は聴神経を介して聴覚中枢に伝達される。

II. アメフラシは比較的単純な神経系をもつ無脊椎動物であり、外部からの刺激によって応答や行動が変化する。

アメフラシの背中には海水や排泄物を排出するための水管と呼吸器のえらがあり、絵筆などで水管に接触刺激を与えると、防御のためえらの引き込み反射が起こる(図3)。ところがこの接触を繰り返すと徐々に応答が鈍る。すなわち、アメフラシの水管に連続10回触ると、えらの引き込み反射は数分間抑制されて起こらなくなる^①。また、この10回の接触刺激を数時間の間隔で4回以上繰り返すと、抑制期間が3週間程度まで延長する。こうした応答の変化を **ア** とよぶ。

一方、このような **ア** を生じたアメフラシの尾部に強い電気ショックを与えると、上述の抑制が解除されてえらの引き込み反射が起こりやすくなり、尾への電気刺激を繰り返すとこの状態が長く持続する。この場合の応答の変化を **イ** とよぶ。

さらに別の実験として、引き込み反射を起こさないようごく軽微にアメフラシの水管に触り、その直後のタイミングで尾に電気ショックを加える操作を何度か繰り返すと、きわめて効果的に応答が増強され、ごく弱い接触でもえらが強く引き込まれるようになる。

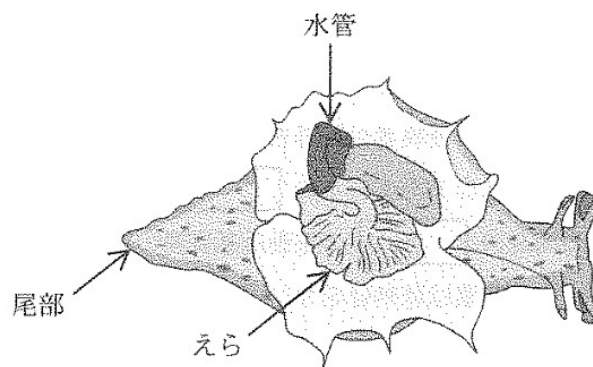


図3

問 4. 文中のアおよびイの に入る適切な語句を答えよ。

問 5. 下線部①の現象を説明する記述として適切なものを次のA～Eからすべて選び記号で答えよ。ただし、記述中の a は水管の刺激を受容する感覚ニューロン、b はえらに引き込みの指令を伝える運動ニューロンを意味する。

- A. 刺激を繰り返すと a から b に向けて放出される神経伝達物質の量が減少していく。
- B. 刺激を繰り返すと a の興奮に必要な膜電位の閾値が上昇していく。
- C. 刺激を繰り返すと ab 間においてシナプス小胞が開口する領域が縮小していく。
- D. 刺激を繰り返すと b がもつ電位依存性 K^+ チャネルの数が減っていく。
- E. 刺激を繰り返すと b の興奮に必要な膜電位の閾値が上昇していく。

問 6. 下線部②の現象を説明する記述として適切なものを次のA～Eからすべて選び記号で答えよ。ただし、記述中の c は尾の刺激を受け取る感覚ニューロンを意味し、a と b は問 5 と同様とする。

- A. c が繰り返し興奮すると a から b に興奮を伝達する領域が拡大していく。
- B. c が繰り返し興奮すると a の興奮に必要な膜電位の閾値が低下していく。
- C. c の興奮は介在神経を経由して a および b に影響を与える。
- D. c が繰り返し興奮すると a から b に向けて放出される神経伝達物質の量が増えていく。
- E. c が繰り返し興奮すると b の興奮に必要な膜電位の閾値が低下していく。

問 7. 「尾への電気刺激」を無条件刺激とみなして下線部③の現象の機構を説明せよ。

4. 植物の生殖に関する各問いに答えよ。

1. 被子植物は大小2種類の配偶子の接合により有性生殖を行う。受粉が成立すると花粉管は胚珠に向かって伸長を開始する。花粉管の先端が胚のうに到達すると、花粉管の中を移動してきた精細胞の1個が卵細胞と接合し受精卵ができる。この時もう1個の精細胞は中央細胞と融合する。このような受精の様式は 受精とよばれる。受精したそれぞれの細胞は種子の中に , 子葉, , 幼根からなる胚と栄養組織である胚乳を形成する。

ある被子植物の胚のうの形成過程を調べるため、胚珠から様々な発達段階の「胚のう母細胞、胚のう細胞、または胚のう」を取り出し、1つの胚珠から得られる核内DNAの総量(全DNA量)を測定した。図1はその結果を発達段階の順に並べたものであり、aはG₁期の胚のう母細胞を示しているが、成熟した胚のうであるfの結果は表示していない。図2は成熟した胚のうの模式図である。また、この植物の根端細胞のG₁期における染色体数は12本である。

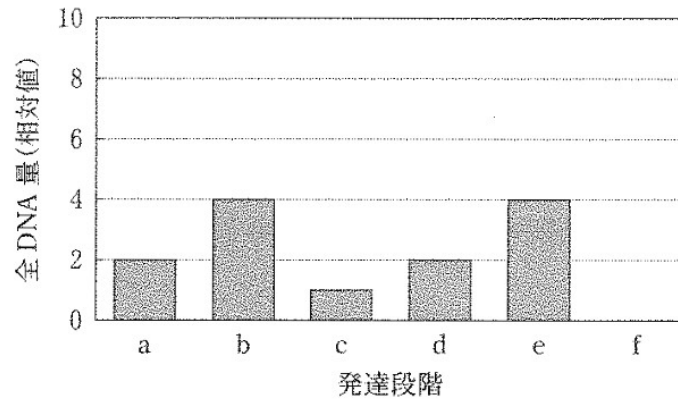


図1

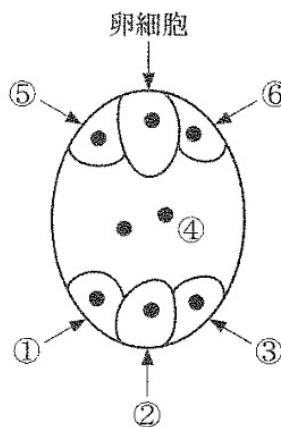


図2

問 1. 文中のア～ウの に入る適切な語句を答えよ。

問 2. a の段階の細胞において核 1 個に含まれる染色体の総数を答えよ。

問 3. b から c の段階で全 DNA 量が 4 分の 1 になった理由を述べよ。

問 4. f の段階の胚のうに含まれる全 DNA 量を答えよ。

問 5. 図 2 の細胞①の核に含まれる DNA の本数を答えよ。

問 6. 次の A～E の文章から正しいものを選び記号で答えよ。

- A. 雄原細胞は生殖細胞である。
- B. 花粉四分子は配偶子である。
- C. 花粉管細胞が精細胞に分化する。
- D. すべての種子植物は花粉管によって精細胞を運ぶ。
- E. 被子植物の花粉と胚のうはシダ植物の前葉体に相当する。

問 7. 次の A～E の文章から誤っているものをすべて選び記号で答えよ。

- A. 裸子植物の胚乳の核相は n である。
- B. 無胚乳種子は胚乳細胞を形成しない。
- C. エンドウの種子は有胚乳種子である。
- D. 無胚乳種子では子葉が発達している。
- E. 受精した中央細胞は核分裂を繰り返した後、核の周辺に細胞膜を形成する。

II. 花粉管はめしべの花柱を通して胚のうに向かって伸長する。花粉管が胚のうに誘引されるしくみについて調べるため、胚のうが珠皮から外に裸出しているゴマノハグサ科のトレニアを用い次の実験 1～4 を行い、それぞれ結果を得た。

【実験 1】花から胚珠を取り出し、培地上で伸長中の花粉管とともに培養した。その結果、胚珠の近くにある花粉管が胚珠に向かって伸長した。

【実験 2】複数の胚珠を用意し、レーザーを用いて胚のう内にある 4 つの細胞(卵細胞および細胞④～⑥[前々頁(27 ページ)図 2])を様々な組み合わせで破壊した。その後、それぞれの胚珠を実験 1 と同様に花粉管とともに培養し、花粉管が胚のうに誘引される頻度について調査し、結果を下表にまとめた。ただし、破壊した細胞は(×)、破壊せず残した細胞は(○)で表した。また、細胞①～③はすべての胚珠で破壊していない。

胚のうの状態	各細胞の状態(×破壊あり, ○破壊なし)				誘引頻度(%)
	卵細胞	④	⑤	⑥	
破壊なし	○	○	○	○	98
1 細胞破壊	×	○	○	○	94
	○	×	○	○	100
2 細胞破壊	○	○	×	○	71
	×	×	○	○	93
	×	○	×	○	61
	○	×	×	○	71
	○	○	×	×	0

【実験 3】胚のうを構成するある細胞で強く発現しているタンパク質 X を人工的に合成し、ゼラチンに混ぜてビーズ状に固めた。次にこのゼラチンビーズを培地上で伸長中の花粉管の近くに置いたところ、花粉管はゼラチンビーズの方向に伸長した。

【実験 4】人工的に合成した「タンパク質 X 遺伝子の mRNA に選択的に結合する物質 Y」を胚のうの中央細胞に注入し、その後、実験 1 と同様に培地上で伸長中の花粉管とともに培養したところ、ほとんどの花粉管は胚珠とは無関係の方向に伸長した。

問 8. 実験 1 と 2 の結果から導き出される結論として適切なものを次の A ~ E からすべて選び記号で答えよ。

- A. 卵細胞は花粉管の誘引に関与する。
- B. 助細胞は花粉管の誘引に関与する。
- C. 反足細胞は花粉管の誘引に関与しない。
- D. 中央細胞は花粉管の誘引に関与しない。
- E. 花粉管の誘引には少なくとも 2 種類の細胞が関与する。

問 9. 実験 1 ~ 4 の結果から導き出される結論として適切なものを次の A ~ E からすべて選び記号で答えよ。

- A. 物質 Y は細胞間を移動できる。
- B. 助細胞がタンパク質 X を分泌する。
- C. 花粉管の誘引伸長は化学傾性である。
- D. 中央細胞がタンパク質 X を合成する。
- E. 胚のう内でタンパク質 X を合成する細胞は 1 つである。

問10. 次の文章中のア~ウの に入る適切な語句を記入せよ。

トレニアとアゼトウガラシはともにゴマノハグサ科に属する近縁種であるが、トレニアの花粉管はアゼトウガラシの胚珠に誘引されず、アゼトウガラシの花粉管もトレニアの胚珠に引き寄せられない。タンパク質 X のアミノ酸配列を比較すると近縁種の間でも配列全体の 10 % 以上に違いがあり、このタンパク質の ア の速度は速いと考えられる。また、トレニアの花粉管をトレニアのタンパク質 X とともに培養すると、花粉管の細胞膜にタンパク質 X が結合するようになるが、他種の花粉管との培養ではそうした結合を認めないため、トレニアのタンパク質 X は他種の植物のタンパク質 X に対する イ とは結合できないと考えられる。これらの結果から、被子植物の生殖において、タンパク質 X は ウ の配偶子間の受精を促すと推定される。