

【医学科】

理科問題

2021(令和3)年度

【注意事項】

1. この問題冊子は「理科」である。
2. 理科は2科目を解答すること。試験時間は2科目合計で180分である。
3. 試験開始の合図まで、この問題冊子を開いてはいけない。ただし、表紙はあらかじめよく読んでおくこと。
4. 試験開始後すぐに、以下の5.に記載されていることを確認すること。
5. この問題冊子の印刷は1ページから16ページまであり、解答用紙は問題冊子中央に9枚はさみこんである。

科目	問題	解答用紙
物理	1ページから6ページ	3枚(53-1, 53-2, 53-3)
化学	7ページから10ページ	3枚(54-1, 54-2, 54-3)
生物	11ページから16ページ	3枚(55-1, 55-2, 55-3)

6. 問題冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明な箇所等があった場合および解答用紙が不足している場合は、手をあげて監督者に申し出ること。
7. 試験開始後、解答する科目の解答用紙の所定欄に、受験番号と氏名を記入すること(1枚につき受験番号は2箇所、氏名は1箇所)。
8. 解答は必ず解答用紙の指定された箇所に記入すること。解答用紙の裏面に記入してはいけない。
9. 解答する科目の問題番号に対応した解答用紙に解答していない場合は、採点されない場合もあるので注意すること。
10. 解答する字数に指定がある場合は、句読点も1字として数えること。英数字を記入する場合は、1字分のマス目に2文字まで記入してよい。
11. 問題冊子の中の白紙部分は下書き等に使用してよい。
12. 解答用紙を切り離したり、持ち帰ってはいけない。解答しない科目の解答用紙も提出すること。
13. 試験終了時刻まで退室を認めない。試験中の気分不快やトイレ等、やむを得ない場合には、手をあげて監督者を呼び、指示に従うこと。
14. 試験終了後は問題冊子を持ち帰ること。

55 生物

11 ページから 16 ページ

〔 I 〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

問題文 1

植物と動物の個体発生は、ともに受精卵から始まる。動物の発生では多くの場合、受精卵から2回の分裂を経た4細胞期までは^(A)生じる細胞の大きさはほぼ同じであるのに対して、被子植物では受精卵からの最初の分裂で、^(B)頂端細胞と基部細胞と呼ばれる大きさの異なる細胞が生じる。

頂端細胞に由来する細胞からは胚が形成される。胚形成の過程では、分裂して増えた細胞は分化し、^(C)幼芽や幼根が作られる。基部細胞に由来する細胞からは、おもに胚柄が形成されるが、胚と接している一部の細胞からは^(D)根冠が作られる。胚柄はやがて消失するが、根冠は種子発芽後も植物体の一部になる。成長している植物体では、植物細胞は^(E)分化全能性(全分化能)という能力をもつことが知られており、園芸にも応用されている。

- (1) 下線部 (A) のような細胞分裂の名称を答えなさい。
- (2) 下線部 (B) に関して、頂端細胞と基部細胞は最初の分裂面に対して次にどのような方向に分裂するか。それぞれ25字以内で説明しなさい。
- (3) 下線部 (C) 以外に胚を構成している器官を2つ答えなさい。
- (4) 下線部 (D) に関して、根冠の役割を2つ答えなさい。
- (5) 下線部 (E) とはどのような能力か。50字以内で説明しなさい。
- (6) 下線部 (E) に関して、ニンジンのカルスから、葉と茎が形成される条件と根が形成される条件を、それぞれ40字以内で説明しなさい。また、それぞれの器官の形成時にはたらく分裂組織の名称を答えなさい。

問題文 2

植物の光合成の場は、(F)葉緑体である。葉緑体のチラコイド膜に存在する光化学系Ⅱでは、水(H₂O)が光エネルギーによって分解されると、酸素と電子および水素イオン(H⁺)が発生する。酸素は細胞の外へ放出されるが、(G)電子とH⁺は、チラコイド膜でATPの合成に利用される。このATPの合成反応を光リン酸化と呼ぶ。

葉緑体に取り込まれたCO₂は、ストロマのカルビン・ベンソン回路によってデンプンやスクロースのもとになる有機物Xに同化される。CO₂はまず、ルビスコという酵素によって、炭素数 のリブローズ二リン酸(RuBP)と結合して、炭素数 の不安定な化合物になる。この化合物は、すぐに2つに分かれて、炭素数 のホスホグリセリン酸(PGA)が2分子つくられる。PGAはチラコイドでつくられたATPとNADPHによって還元され、炭素数 のグリセルアルデヒドリン酸(GAP)となる。このGAP2分子から、(H)有機物Xがつくられる。また、GAP10分子から、炭素数 のリブローズリン酸が6分子つくられ、これがATPと反応してRuBPとして再生される。

(7) 下線部 (F) に関して、葉緑体ができるまでの進化の過程として有力な説を100字以内で説明しなさい。ただし、「シアノバクテリア」と「好気性細菌」という語句を使うこと。

(8) 下線部 (G) に関して、チラコイド膜でATPが生産されるしくみを100字以内で説明しなさい。

(9) 文章中の空欄 ~ に入る適当な数字を答えなさい。

(10) 下線部 (H) に関して、光合成によって、有機物Xを1分子つくるための反応式を書きなさい。また、有機物Xが540gできるときに必要なCO₂の重量は何gか答えなさい。ただし、有機物Xの組成はC₆H₁₂O₆とする。また、原子量は、H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0とする。

〔Ⅱ〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

シュペーマンらは、イモリの初期原腸胚の原口背唇部を切りとり、同じ発生段階の他の胚の将来腹側になる部分に移植すると、(A)本来の胚(一次胚)とは別に、ほとんど完全な構造をもつ二次胚が形成されることを発見した。この現象に興味をもった花子さんは、二次胚の形成に関わる遺伝子を見つけるため、アフリカツメガエルを用いて次の実験Ⅰと実験Ⅱを行った。

〔実験Ⅰ〕 アフリカツメガエルの64細胞期の胚を一定時間、塩化リチウム水溶液で処理すると、「超背側化」と呼ばれる現象が起こる。超背側化とは、背側をつくるしくみが増強され、胞胚期以後、側方や腹側の性質をもつ細胞が減り、背側の性質をもつ細胞が大幅に増えることである。そこで、花子さんは塩化リチウム水溶液で処理したアフリカツメガエル胚(以後、「処理胚」と、処理しなかった胚(以後、「無処理胚」)を初期原腸胚まで培養し、それぞれの胚から mRNA を抽出した。そして、それらの mRNA を正常な8細胞期の胚の腹側の割球に注射して、胚発生を観察した(図1参照)。(B)処理胚の mRNA を注射した胚では、不完全な構造をもつ小さな二次胚が出現した。一方、(C)無処理胚の mRNA を注射した胚には二次胚は形成されなかった。

〔実験Ⅱ〕 花子さんは、処理胚の mRNA の中から、胚に注射したときに二次胚を形成させる作用のある mRNA を探索した。そして、(D)ある遺伝子(遺伝子Z)の mRNA を注射すると、一次胚とほぼ同じ大きさの完全な二次胚が形成されることを見つけた。遺伝子Zは、はたらきは未知だが、(E)ホメオボックスをもっており、その mRNA は無処理胚(正常胚)では中期胞胚以降に発現していた。また、初期原腸胚では図2のように発現していた。

実験を終えた花子さんは、過去の文献から、アフリカツメガエル胚では(F)受精後のディシェベルドとβカテニンのはたらきが背腹軸の決定に関わることを知り、これらのタンパク質と遺伝子Zの関係を明らかにすることが、シュペーマンの見つけた現象の理解の鍵になると考えた。

- (1) 以下の枠内の組織は、外胚葉、中胚葉、内胚葉のいずれから発生するか、それぞれ答えなさい。

脊髄	腎臓	内臓の平滑筋	消化管の上皮
----	----	--------	--------

- (2) 以下は下線部(A)について説明した文章である。空欄 ～ に適当な語句を入れなさい。

シュペーマンらは、『移植した原口背唇部が、未分化な胚の細胞にはたらきかけて、**a** や **b** , その他の器官や組織をつくらせ、調和のとれた胚を完成させた』と結論づけ、このようなはたらきをもつ胚の領域を **c** と呼んだ。原口背唇部のように、胚の特定の部分が、その近くの未分化な細胞群に作用して、特定の組織への分化を促すはたらきを **d** という。

(3) 下線部 (B), (C), (D) について、二次胚を形成させる作用の強さが異なる理由を考察し述べなさい。ただし、注入された mRNA の量(重量)は、(B) と (C) は等しく、(D) は最も少なかった。また、注入された mRNA は、細胞内にもとから存在している mRNA と同様に翻訳されたものとする。

(4) 下線部 (E) について、次の問いに答えなさい。

(ア) ホメオボックスとは何か、説明しなさい。

(イ) 遺伝子 Z はどのようなはたらきをしているか推測し、110 字以内で述べなさい。ただし、図 2 に示す遺伝子 Z の発現部位、およびこの発現により完全な二次胚が形成されていることを考慮すること。

(5) 下線部 (F) について、ディシェベルドと β カテニンが胚の背腹軸を決めるしくみを、150 字以内で説明しなさい。

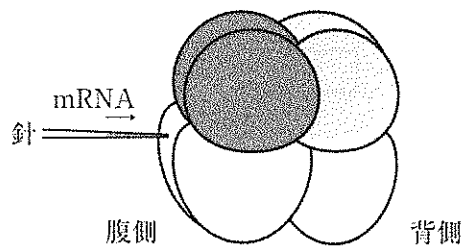


図 1 mRNA の腹側割球への注射のようす

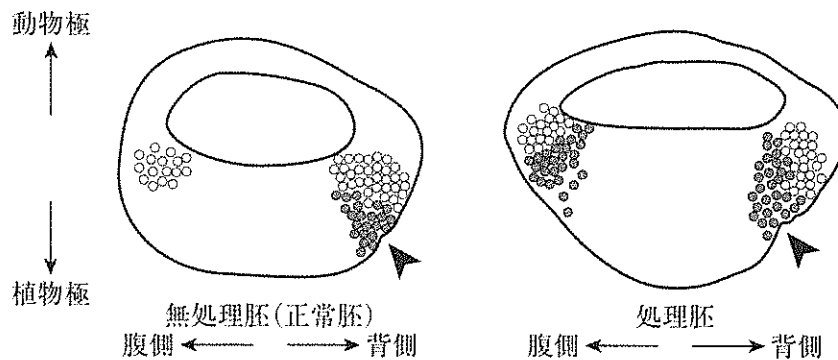


図 2 初期原腸胚を正中面で薄切した切片の模式図。白丸は中胚葉の細胞を、灰色の丸は遺伝子 Z を発現する細胞を、また ▲ は最初に原腸陥入した位置を示す。

〔Ⅲ〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

核酸にはDNAとRNAがあり、このうち生物の生命活動に必要なすべての情報を保持しているのはDNAである。DNAは [a] とリン酸、塩基から構成されている。DNAの塩基には、アデニン、 [b]、グアニン、シトシンの4種類があり、DNAの二重らせん構造の内部において、アデニンと [b]、グアニンとシトシンは、それぞれ(A)塩基対を形成している。真核生物では、DNAは [c] と呼ばれるタンパク質と結合し、ヌクレオソーム構造を形成している。ヌクレオソームは、数珠状につながり凝集することで [d] 構造を形づくっている。体細胞分裂の中期になると、 [d] はさらに凝集し、(B)棒状の染色体として観察することができる。

DNAに保存されている遺伝情報からタンパク質が合成されることを、遺伝子の発現という。真核生物の場合、DNAの塩基配列情報は、核の中でmRNAに写し取られ、 [e] 上でタンパク質に翻訳される。こうした遺伝情報の流れは、 [f] と呼ばれる。

DNAの構造やDNAのもつ遺伝情報の発現のしくみが明らかになるにつれ、人工的にDNAを操作する技術も急速に発展した。その技術の1つに、(C)ノーベル賞を受賞したマリスらにより開発された(D)PCR法がある。PCR法は、2つのプライマーに挟まれたDNA領域を試験管内で大量に増幅することができるため、生物学の発展に大きく貢献してきた。たとえば、増幅したDNA断片を(E)電気泳動法により解析することで、遺伝子の構造や発現のしくみを調べることができる。

- (1) 文章中の空欄 [a] ~ [f] に入る最も適切な語句をカタカナで答えなさい。
- (2) 下線部(A)について、塩基どうしの結合の名称を答えなさい。
- (3) 下線部(B)について、ヒトの体細胞では一般的に何本の染色体が観察されるか、数字で答えなさい。
- (4) 下線部(C)について、日本人が行った研究のうち、ノーベル賞を受賞した研究成果を下の枠内からすべて選び、①~⑥の番号で答えなさい。

- | | |
|----------------------|---------------------|
| ① 中胚葉誘導物質(アクチビン)の同定 | ② iPS細胞の作製 |
| ③ 岡崎フラグメントの発見 | ④ フロリゲンの同定 |
| ⑤ 多様な抗体を生成するメカニズムの解明 | ⑥ 緑色蛍光タンパク質(GFP)の発見 |

- (5) 下線部(D)について、PCRに用いられる酵素の名称と、この酵素の基質の名称を答えなさい。

(6) 下線部 (E) について、電気泳動に用いる緩衝液中において、DNA は正(+)または負(-)のどちらに荷電しているか、その理由とあわせて 25 字以内で説明しなさい。

(7) 図 1 はヒトの遺伝子 X の構造を示す。遺伝子 X の発現を調べるため、以下の実験を行った。まず、A さんの上皮細胞から (F) ゲノム DNA と mRNA をそれぞれ抽出した。次に、抽出した mRNA に対して相補的な配列をもつ二本鎖 DNA (以降、cDNA と表記する) を合成した。抽出したゲノム DNA、または合成した cDNA を鋳型とし、図 1 に矢印で示した 2 つのプライマー (矢印の先端をプライマーの 3' 末端とする) を用いて PCR を行い、増幅された DNA 断片を寒天ゲルを用いた電気泳動法により調べたところ、図 2 (a) のような結果が得られた。

(ア) 図 2 (a) について、ゲノム DNA を鋳型とした場合と cDNA を鋳型とした場合とで異なる長さの DNA 断片が増幅された理由を 100 字以内で説明しなさい。

(イ) 上皮細胞の代わりに A さんの血球細胞を用いて、下線部 (F) と同様の実験を行ったところ、図 2 (b) のような結果が得られた。A さんの血球細胞における遺伝子 X の発現に関して、この結果からわかることを 100 字以内で述べなさい。

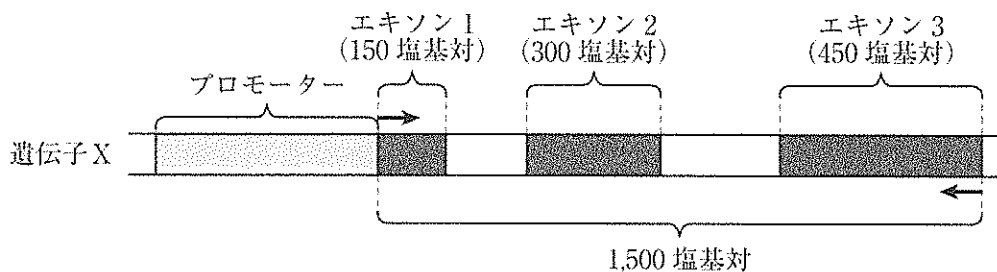


図 1

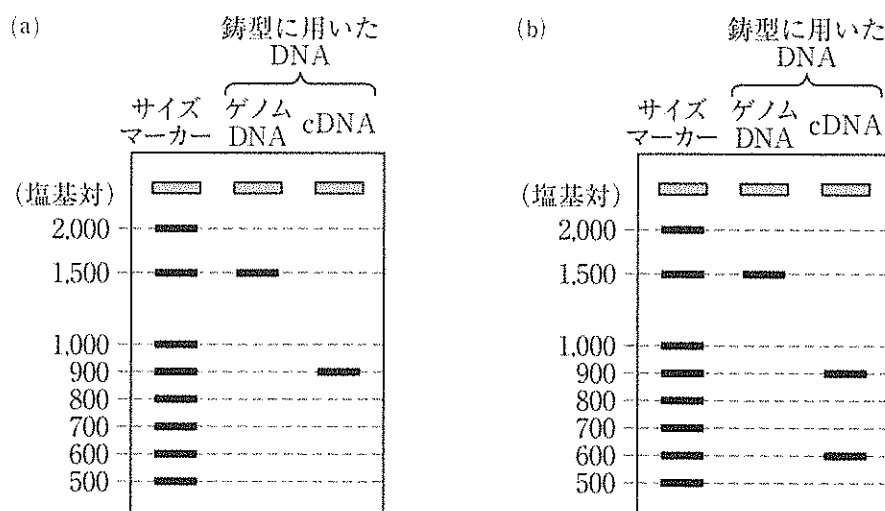


図 2

(□ は DNA を注入したウェルを、■ は DNA 断片をそれぞれ表す。)