

令和 4 年度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第 1 問 遺伝情報の保存と発現の流れに関する次の文章を読み、各問に答えよ。

すべての生物において、遺伝情報は DNA 上に保存されており、RNA を介して、タンパク質として発現する。この情報の流れ(図 1)は基本的には DNA からタンパク質へ方向であり、タンパク質から DNA ではない。

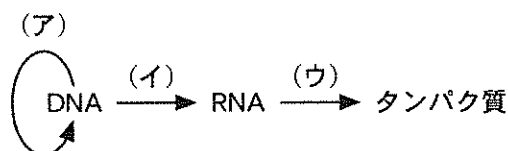


図 1

DNA は通常二本鎖の安定な状態をとるが、細胞増殖過程で DNA 量が増えるときなどには部分的に一本鎖の状態になる。また、RNA は一本鎖が基本であるが、部分的かつ一時的に DNA や RNA と二本鎖を形成することもある。^(a)

問 1 下線部(a)について、次の問に答えよ。

- (1) 図 1 にある(ア)、(イ)、(ウ)の過程の中で、DNA と RNA の間で二本鎖が形成されるものを 2 つ選び記号で答えるとともに、それぞれの過程の名称を答えよ。また、それぞれの過程におけるどの段階で二本鎖形成が進められるか答えよ。
- (2) (ア)、(イ)、(ウ)の過程の中で、RNA 同士の分子間で二本鎖が形成されるものを 1 つ選び記号で答えるとともに、その過程の名称を答えよ。また、その過程におけるどの段階で二本鎖形成が進められるか答えよ。

問 2 図 1 の(ア)の過程について、次の問に答えよ。

大腸菌のゲノム DNA のサイズは約 460 万塩基対である。このゲノム DNA が 2 倍になるときに 45 分かかるとすると、1 分子の DNA 合成酵素が 1 秒間に合成する DNA は平均何塩基対になるか(小数点以下は四捨五入すること)。

問 3 図 1 の(イ)の過程の制御に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

真核生物の mRNA 合成の場合には、各遺伝子のプロモーター領域に共通に結合して RNA の合成開始に関わるタンパク質に加え、これらの働きを抑制する調節タンパク質、活性化する調節タンパク質など、多くの種類のタンパク質が(イ)の過程に関与する。

ここで、遺伝子 X の発現量が α と β の 2 種類の細胞間で大きく異なる理由を明らかにする目的で、レポーターアッセイと呼ばれる実験を行った。

[実験]

- ・ 遺伝子工学の手法を用いて、遺伝子 X の RNA の合成が開始される部分に隣接する DNA の領域を緑色蛍光タンパク質 (GFP) の遺伝子と結合させたレポーター遺伝子を作製した(図 2 [A])。
- ・ 上記の領域をそれぞれ 100 塩基対からなる I、II、III の 3 つの領域に分け、これらの領域の一部あるいは全部を除いたレポーター遺伝子を作製した(図 2 [B] ~ [H])。
- ・ それぞれのレポーター遺伝子を 1 つずつ、細胞 α あるいは細胞 β に導入した。このとき、いずれのレポーター遺伝子も同じ量が導入されるようにした。
- ・ 遺伝子を導入した翌日に各細胞内で合成された GFP の量を蛍光強度により測定した。図 2 において、レポーター遺伝子 [A] ~ [H] の構造を示した図の右に掲げた数字がその測定値を相対値で示したものである。

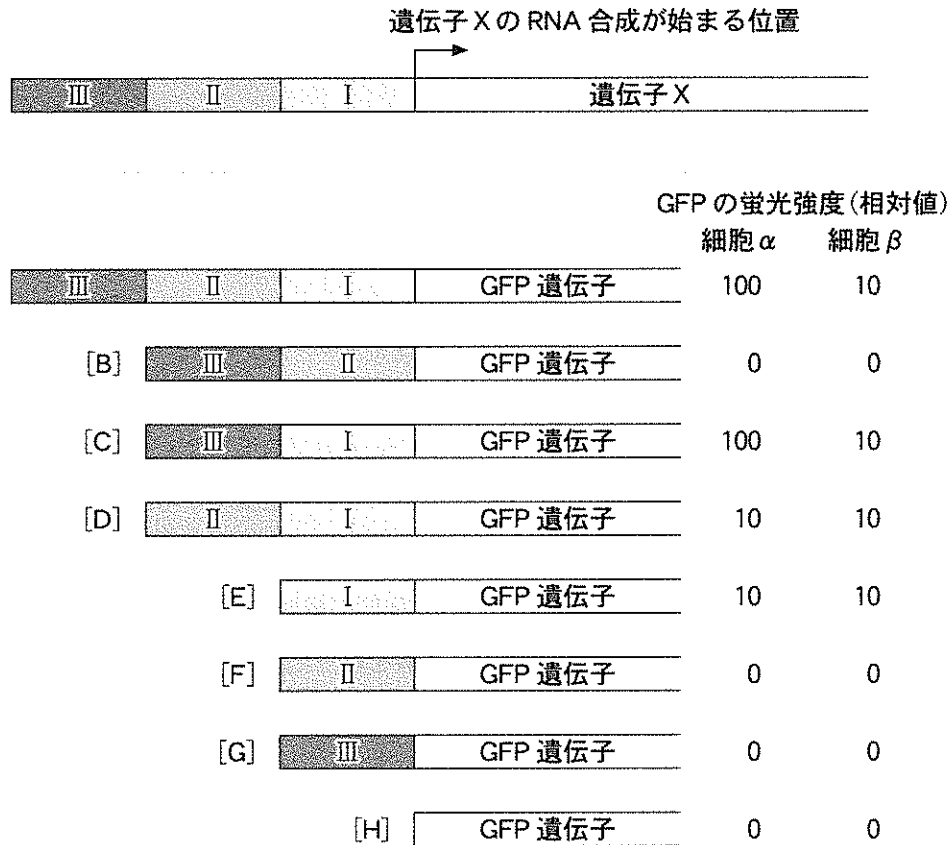


図 2

- (1) GFP の蛍光強度が 0 になっている場合が複数あるが、これらが 0 になる理由として考えられることを I ~ III の領域と関連づけて述べよ。

- (2) 細胞 α において、[C] を導入したときの値が 100 であるのに対し、[D] の場合は 10 となっている理由として考えられることを述べよ。

- (3) 図 2 に示した実験結果を踏まえて、遺伝子 X の発現量が細胞 α と細胞 β で大きく異なる理由として考えられることを述べよ。

問 4 図 1 の(イ)の過程に関連した解析に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

PCR 法は 2 種類のプライマーに挟まれた DNA 領域を短時間に試験管内で増幅する方法であり、様々な用途に用いられている。特定の遺伝子から合成された mRNA を検出する際には、mRNA を鋳型として相補的な塩基配列をもつ DNA (cDNA) を合成し、これを鋳型として PCR 法が行われる。

ヒト遺伝子 Y は複数のエクソンから構成されており、エクソン 2 およびエクソン 4 はともに 250 塩基対である。ここで、イントロンの長さおよび肝臓、腎臓、^{すい}膵臓における遺伝子 Y の発現状態を知るために肝臓ゲノム DNA および各組織由来 cDNA を用いて PCR 法を行った。用いたプライマーは p1、p2、p3 の 3 種類で、それぞれエクソン 2、3、4 の末端部分と相補的な配列を有する(図 3)。矢印は各プライマーを起点とした DNA 合成の方向を表している。

PCR による反応生成物およびマーカー(既知の長さの DNA 断片)を、寒天ゲルを用いて電気泳動することにより、DNA 断片を長さごとに分離した。寒天ゲル中の DNA を染色したところ、図 4 のようなパターンが現れた。

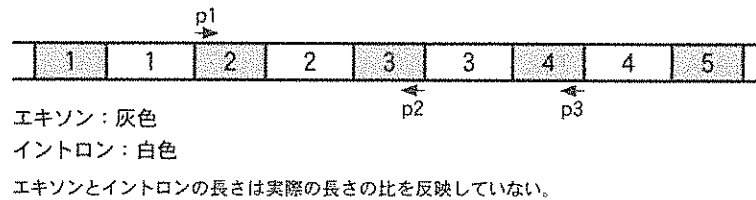


図 3

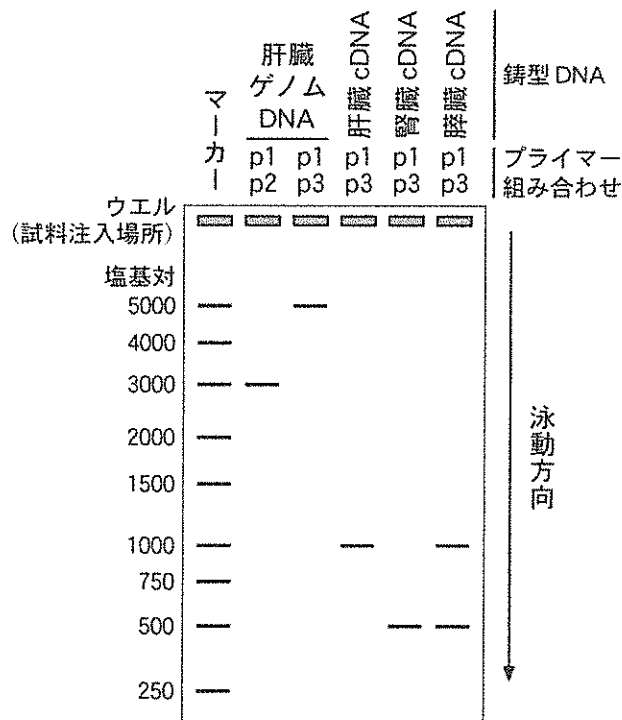


図 4

- (1) 下線部(b)の反応を触媒する酵素の名称を答えよ。
- (2) 下線部(c)に関して、長い DNA 断片ほど移動距離が短い理由を述べよ。
- (3) 電気泳動の結果より、イントロン2、イントロン3の長さを求めよ。ただし、イントロンはエクソンより長いものとする。
- (4) 膵臓 cDNA を鋳型とした PCR 法を行ったときに2種類の異なる長さの DNA が増幅された理由を述べよ。

問 5 図1の(ウ)の過程について、次の問に答えよ。

下記の塩基配列はある遺伝子のエクソンの一部で、最初の CTG はロイシンに対応している。なお、ここでは DNA の非鋳型鎖(センス鎖)の塩基配列のみを示している。

5' ___CTG GAA AAC TAC TGC AAC TAG ACG CAG CCC GCA GGC AGC CCC ACA CCC___ 3'

- (1) 一塩基置換により、この遺伝子から合成されるタンパク質のアミノ酸配列がアミノ酸5個分短くなったとき、何番目の塩基が置換したと考えられるか。例にならって答えよ。(例：上の配列の左端から26番目のAがTに置換したと考えられるとき[A 26 T])
- (2) 一塩基欠失してもアミノ酸配列が変わらない最も5'側の塩基は上の配列の左端から数えて何番目の塩基か。

問 6 真核生物の DNA の情報が直接タンパク質合成に用いられずに途中で RNA を介することは、どのような利点があると考えられるか。合成されるタンパク質の量と構造の面についてそれぞれ述べよ。

第2問 発酵に関する次の文章を読み、各問に答えよ。

子のう菌類である出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* (以下、酵母と表記する) は、高いアルコール発酵能をもつことから、飲用アルコールや工業用アルコール、バイオマスエタノールなどの製造に広く用いられている。果実を原材料としたワインなどのアルコール醸造の場合、果汁に含まれる糖を直接アルコール発酵の基質として用いることが可能であるが、穀物を原材料とする場合には様々な処理が必要となる。日本酒の醸造では、酵母に加えてコウジカビを用いることで効率のよいアルコール発酵を可能にしている。大麦を原材料とするビールやウイスキーの場合は、発芽させた大麦の種子を細かく砕き、温水と混ぜ合わせた麦汁をもとにアルコール発酵を行っている。また、木材を原材料としてバイオマスエタノールを製造する工程では、セルロースを希硫酸などで加水分解する必要がある。

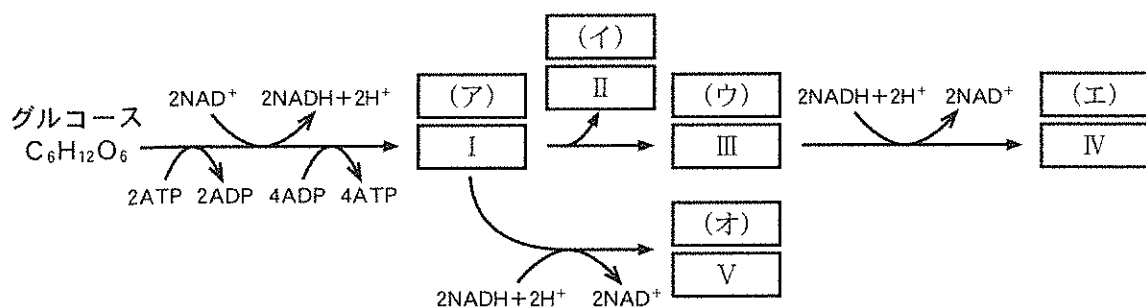
問1 以下の記述の中から子のう菌類の特徴に当てはまるものをすべて選び番号で答えよ。

- ① 細胞壁をもつ。
- ② DNA が核膜に覆われている。
- ③ 小胞体をもたない。
- ④ 生活環の中で、核相が n (単相)の時期が存在する。
- ⑤ 受精による有性生殖を行う。

問2 以下の菌類の中から、子のう菌類に属するものをすべて選び番号で答えよ。

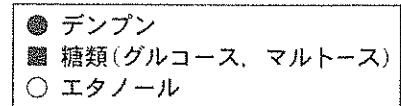
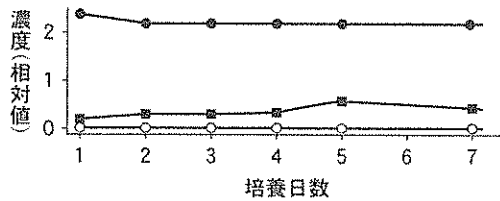
- ① アオカビ ② シイタケ ③ クモノスカビ
- ④ アカバンカビ ⑤ ツボカビ ⑥ マツタケ

問3 アルコール発酵および乳酸発酵の反応式を以下に示した。空欄(ア)~(オ)に入る物質名と、それぞれに対応する化学式 I ~ V を係数と共に記せ。

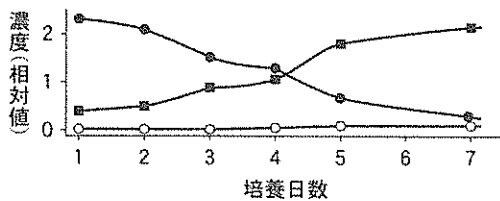


問 4 以下のグラフは、酵母(図 5 A)とコウジカビ(図 5 B)をデンプンと共に培養した際に生じる糖類およびエタノールの濃度変化をデンプンの濃度変化とともに示したものである。また、コウジカビを培養した 2 日後に酵母を添加して培養した場合の結果も併せて示した(図 5 C)。これらのグラフをもとに、日本酒の醸造にコウジカビが用いられる理由を考えて述べよ。その際に、コウジカビが産生していると考えられる酵素の名称を用いること。

A - 酵母のみ



B - コウジカビのみ



C - コウジカビ+酵母

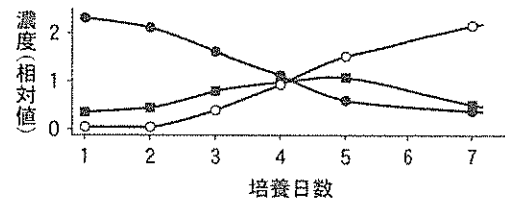


図 5

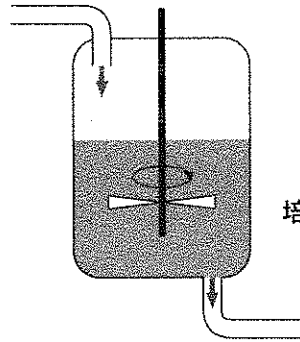
問 5 冒頭の文章にある下線部に関して、なぜ発芽させた種子を用いる必要があるのか。その理由を、種子の発芽を促進する植物ホルモンの名称とそれが作用する仕組みに触れつつ述べよ。

問 6 一般的に呼吸と発酵の両方を行える生物では、周囲の酸素が少ない時には発酵を行い、酸素が十分に存在する時には呼吸を行うことで、効率よくエネルギーを産生している。しかし、酵母の場合は、好気的な環境下であっても条件が整うと積極的にアルコール発酵を行うことが知られている。これに関する次の実験内容を読み、各問に答えよ。

増殖に必要な物質を含んだ液体(栄養培地)に酵母を加え、かき混ぜながら酸素が十分に供給される状態で培養を行った。この時、一定量の栄養培地を供給しながら等量の培養液を酵母と共に抜き取り続けた(図 6)。栄養培地に含まれるグルコースの初期濃度が低いと、酵母の増殖に伴ってグルコースが消費され枯渇するが、この培養系では一定量の新鮮な栄養培地が常に供給されるためにグルコースが補われ、消費量と供給量が釣り合った時点でグルコース濃度は定常状態となる。また、培養液に含まれる酵母の存在量も、増殖により増加する量と培養液と共に抜き取られる量が釣り合った時点で定常状態となる。1 時間あたりに置換される培養液の比率を希釈率と呼び、希釈率が高いほど時間あたりに供給されるグルコースの量が増えるために酵母が利用可能なグルコースの量は増加する。なお、グルコース以外の酵母の増殖に必要な物質は充分量存在しているものとする。

栄養培地の供給速度 = F (m^3/h)

$$\text{希釈率} = \frac{F}{V} \text{ (/h)}$$

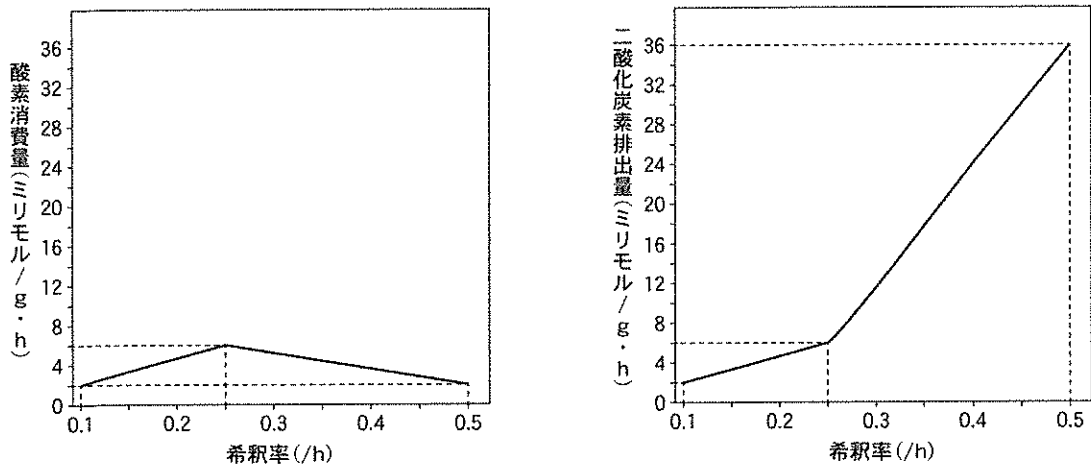


培養槽中の培養液量 = V (m^3)

培養液の抜き取り速度 = F (m^3/h)

図 6

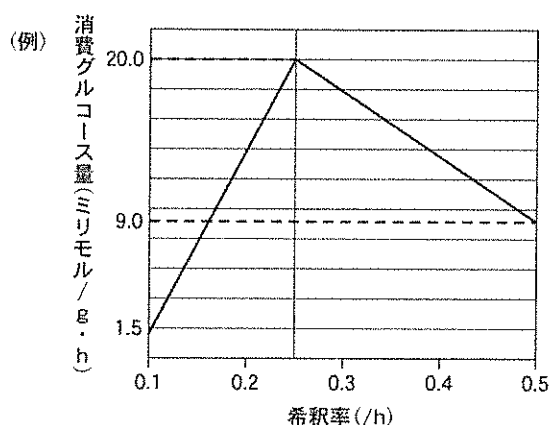
以上の条件に従い、0.1 から 0.5 までの様々な希釈率で定常状態になるまで培養を行った後、培養液中の酵母が 1 時間あたりに消費する酸素の量と排出する二酸化炭素の量を測定し、酵母の乾燥重量 1 g あたりに換算して図 7 のグラフを作成した。



注：モルとは物質量の単位で、1 モルには 6.02×10^{23} 個の粒子が含まれる。

図 7

- (1) 希釈率が0.2の時、酵母は呼吸と発酵をどのような比率で行っているか。呼吸でのグルコースの消費量を1としたときの、発酵でのグルコースの消費量を記せ。
- (2) 希釈率が0.5の時、酵母は呼吸と発酵をどのような比率で行っているか。呼吸でのグルコースの消費量を1としたときの、発酵でのグルコースの消費量を記せ。
- (3) 真核生物は、呼吸により1モルのグルコースから最大で38モルのATPを産生するが、実際に産生されるATPの量はそれよりも少ないことが多い。この実験で用いた酵母の場合、呼吸により1モルのグルコースから18.0モルのATPが産生されるものとし、希釈率が0.2と0.5の時に酵母が1モルのグルコースから産生するATPのモル数をそれぞれ小数第一位まで求めて記せ(二位以下は四捨五入すること)。
- (4) この培養系において、1gの酵母(乾燥重量)が1時間あたりに異化反応で消費するグルコースのモル数と希釈率との関係を折れ線グラフで示せ。その際、希釈率が0.1、0.25、0.5の時の消費グルコース量を小数第一位まで求めて、下の例を参考にグラフに書き入れよ(二位以下は四捨五入すること)。



- (5) この培養系において、1gの酵母(乾燥重量)が1時間あたりに産生するATPのモル数と希釈率との関係を折れ線グラフで示せ。その際、希釈率が0.1、0.25、0.5の時のATP産生量を小数第一位まで求めてグラフに書き入れよ(二位以下は四捨五入すること)。

(6) (5)のグラフが意味するところを説明する記述として、適当なものを以下から1つ選び番号で答えよ。また、そのようになる理由を、これまでの結果を踏まえ、呼吸商、グルコースあたりのATP産生効率、グルコースの消費速度という観点から考察し述べよ。

- ① 培養液中のグルコースが一定量を上回ると発酵を行うようになり、グルコース量の増加に伴うATP産生量の増加率は呼吸を主に行っている時と比べて著しく低下する。
- ② 培養液中のグルコースが一定量を上回ると呼吸を行うようになり、グルコース量の増加に伴うATP産生量の増加率は発酵を主に行っている時と比べて著しく低下する。
- ③ 培養液中のグルコースが一定量を上回ると発酵を行うようになるが、グルコース量の増加に伴うATP産生量の増加率は呼吸を主に行っている時とほとんど変わらない。
- ④ 培養液中のグルコースが一定量を上回ると呼吸を行うようになるが、グルコース量の増加に伴うATP産生量の増加率は発酵を主に行っている時とほとんど変わらない。
- ⑤ 培養液中のグルコースが一定量を上回ると発酵を行うようになり、グルコース量の増加に伴うATP産生量の増加率は呼吸を主に行っている時と比べて著しく上昇する。
- ⑥ 培養液中のグルコースが一定量を上回ると呼吸を行うようになり、グルコース量の増加に伴うATP産生量の増加率は発酵を主に行っている時と比べて著しく上昇する。

第3問 骨格筋の収縮を制御するメカニズムの研究に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

20世紀の前半 Szent-Györgyi らは骨格筋から抽出したタンパク質を用いた実験により、ATPを消費しつつ進行するミオシンとアクチンの相互作用が筋収縮の物質的基盤であることを明らかにした。一方20世紀半ばに Huxley らは独自に開発した顕微鏡を用いた観察に基づき、ミオシンとアクチンそれぞれからなるフィラメントが互いの間に滑り込むことにより筋肉が収縮するという滑り説を提唱した。さらに Huxley らは生理学的実験により、運動ニューロンから骨格筋への情報伝達のメカニズムの骨子を明らかにしている。その後多くの研究者が、ミオシンとアクチンの相互作用およびこれを制御するメカニズムを分子レベルで明らかにする研究に取り組んでいる。

問1 筋肉を構成するタンパク質に関連する次の問に答えよ。

(1) アクチンは球状のタンパク質であるが、これが重合してフィラメントを形成することがある。このフィラメントの平均的な太さとして適当なものを1つ選んで番号で答えよ。

- ① 1×10^{-9} メートル ② 2.5×10^{-9} メートル ③ 7×10^{-9} メートル
④ 1×10^{-8} メートル ⑤ 2.5×10^{-8} メートル ⑥ 7×10^{-8} メートル

(2) ミオシンはアクチンフィラメントの上を移動するモータータンパク質であるが、微小管の上を移動するモータータンパク質を2つ答えよ。

問2 下線部(a)に関する実験について述べた以下の文章を読み、各問に答えよ。

[実験1]

- ・ ウサギの骨格筋を破碎したものに濃い塩化カリウム水溶液を加え、4℃で20分間タンパク質を抽出した。これを抽出液Aと呼ぶ。
- ・ この抽出を一晩かけて行った結果得られた抽出液を抽出液Bと呼ぶ。抽出液Bのタンパク質の濃度は抽出液Aと比べて10%程度増加した。
- ・ タンパク質濃度をそろえた抽出液Aと抽出液Bを、それぞれ細い管を通して水の中に押し出すと、いずれも糸状に固まった。
- ・ ATPと少量の無機塩類を含む溶液に抽出液Bを糸状に固めたものを浸すと、この糸が急速に収縮し、長さが約3分の1、太さが約2分の1になった(図8)。
- ・ 抽出液Aを糸状に固めたものを用いて同様の操作を行っても収縮することはなかった(図8)。

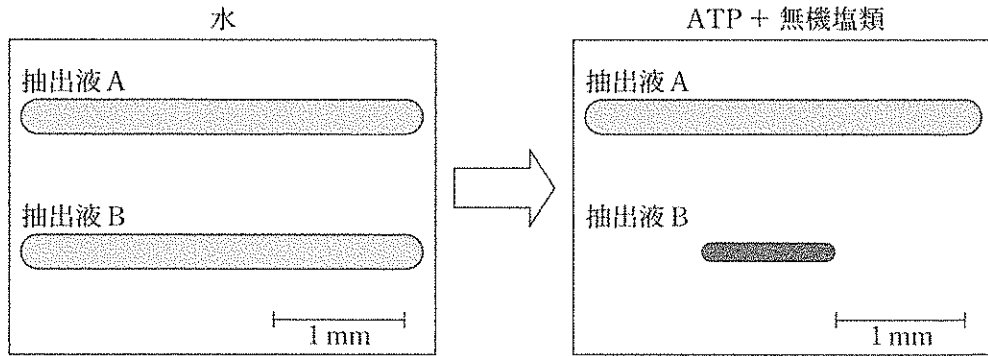


図 8

- ・ 抽出液 B を固めたものを電子顕微鏡で観察すると 2 種類の太さのフィラメントが確認できた。それぞれの太さは筋原繊維に見られる太いフィラメントと細いフィラメントと同程度であった。一方、抽出液 A を固めたものでは太いフィラメントのみで、細いフィラメントは確認できなかった。
- (1) 抽出液 B を固めたものが収縮し、抽出液 A を固めたものが収縮しなかった理由について考えられることを、抽出方法の違いと関連付けて述べよ。
 - (2) 抽出液 B を固めたものの収縮前後における形態の変化を筋原繊維の収縮と比較すると、長さの変化が大きく、約 3 分の 1 にまで収縮するのであるが、この他にも明らかに異なる点がある。どのような点が異なるか、筋原繊維の場合と比較して述べよ。
 - (3) (2) で答えたような違いが生じる筋原繊維側の要因として適当なものを 1 つ選んで番号で答えよ。
 - ① 太いフィラメントや細いフィラメントが一定方向に配列している。
 - ② 太いフィラメントや細いフィラメントの長さが揃っている。
 - ③ 収縮後も太いフィラメントや細いフィラメントの長さは変化しない。
 - ④ 収縮後に明帯の幅は狭くなるが暗帯の幅は変化しない。
 - (4) ミオシンとアクチンは骨格筋などの筋組織のみならず、動植物の体を構成する多くの種類の細胞に含まれている。筋肉の収縮以外にこれらの細胞の中でミオシンとアクチンが利用されている例を 2 つ答えよ。

問 3 ミオシンとアクチンの相互作用を制御するメカニズムを明らかにする過程で行われた実験に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

[実験 2]

- ・ ウサギの骨格筋からミオシンを含む抽出液 P とアクチンを含む抽出液 Q を別々に調製した。
- ・ 抽出液 P、Q の混合液をもとに、カルシウムイオンを含まない反応液 ($-Ca^{2+}$) と、含む反応液 ($+Ca^{2+}$) を調製した。
- ・ それぞれの反応液に ATP を加え、その直後から濁度の変化を記録した。この濁度とは溶液の濁りを数値化したもので、溶液中のミオシンとアクチンが相互作用することにより濁度は上昇する。
- ・ 反応液中のカルシウムイオンが濁度の上昇に与える影響を調べた結果が図 9 のグラフに示してある。

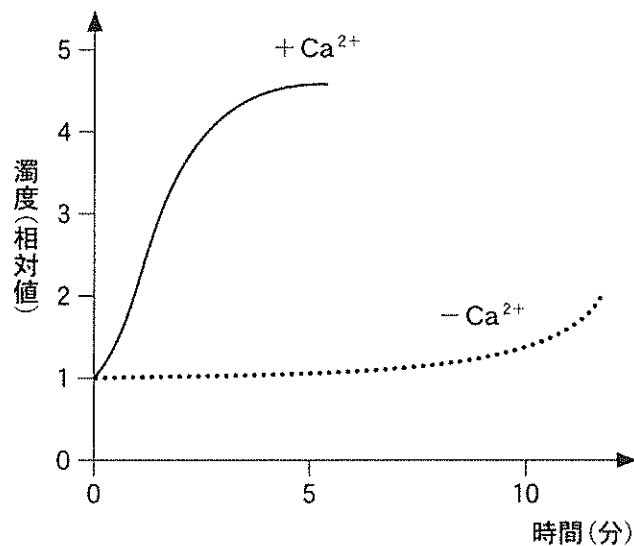


図 9

(1) この反応液中のミオシンとアクチンの相互作用について、図 9 のグラフから読み取れる内容として適当なものをすべて選んで番号で答えよ。

- ① ATP が無くてもゆっくり進行する。
- ② ATP により抑制される。
- ③ カルシウムイオンが無くてもゆっくり進行する。
- ④ カルシウムイオンが無いと ATP により抑制される。
- ⑤ カルシウムイオンが有ると ATP は必要なくなる。
- ⑥ カルシウムイオンにより抑制される。
- ⑦ カルシウムイオンにより促進される。

[実験 3]

- ・ 実験 2 で用いた抽出液 Q から純度の高いアクチンを精製し、これとミオシンを含む抽出液 P を用いて同様の実験を行ったところ、カルシウムイオンの影響がほとんど見られなくなった(図 10 左のグラフ)。

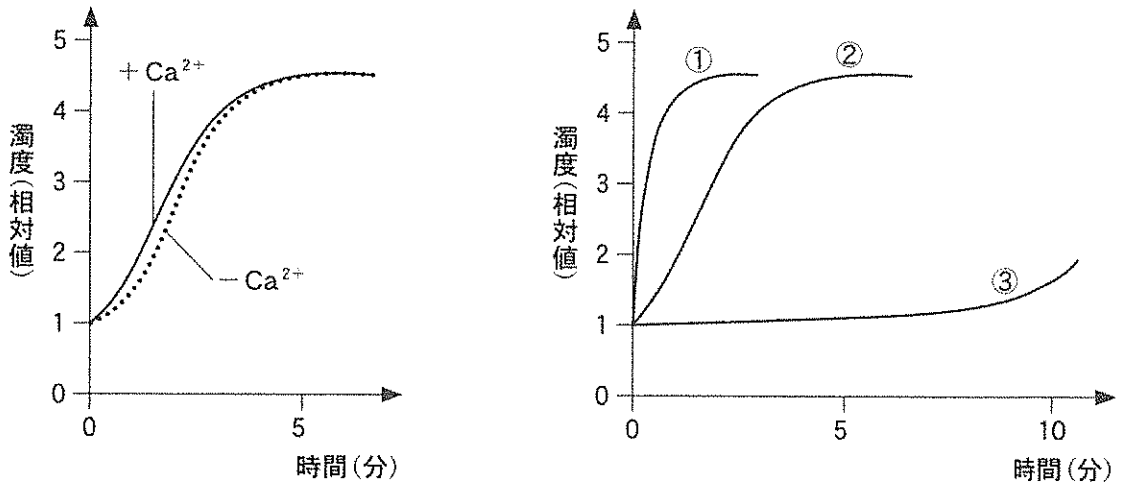


図 10

- (2) このことから実験 2 で用いた抽出液 Q にはアクチンの他にどのような働きをするタンパク質が含まれていたと考えられるか述べよ。

[実験 4]

- ・ (2)で答えたタンパク質をウサギ骨格筋より抽出した。
 - ・ このタンパク質を加えた場合と加えなかった場合とで、実験 3 と同様の実験を行った。
- (3) カルシウムイオンを含まない反応液を用いた場合、反応液にこのタンパク質を加えた場合と加えなかった場合それぞれにおいて、実験結果はどのようなことが期待されるか。図 10 右のグラフにある①~③の中で適当なものを答えよ。
- (4) カルシウムイオンを含む反応液を用いた場合について(3)と同様に答えよ。
- (5) このタンパク質はトロポミオシンおよびトロポニンであることが現在明らかにされている。それぞれのタンパク質がカルシウムイオンによるミオシンとアクチンの相互作用の調節にどのように関与しているか述べよ。

問 4 下線部(b)に関する以下の文章を読み、次の問に答えよ。

神経細胞の興奮の伝達は、軸索の末端と別の神経細胞や筋繊維などとの間に形成された(ア)と呼ばれる構造を介して行われる。運動ニューロンと筋繊維との間に形成された(ア)においては、軸索の末端から(イ)が分泌される。(イ)はノルアドレナリンやグルタミン酸などと同様に(ウ)として働く分子である。筋繊維上には(イ)の(エ)が存在する。これはイオンチャネルとして働くもので、(イ)と結合することにより開口する。(ア)周辺では常時(オ)電位と呼ばれる膜電位が生じているが、このイオンチャネルの開口により(カ)イオンが筋繊維内へ流入し、これがきっかけとなって(キ)電位が発生する。筋繊維の一部で起きたこのような変化はT管と呼ばれる領域へと伝わり、やがて(ク)と呼ばれる細胞小器官に含まれるカルシウムイオンの細胞質基質への放出を引き起こすことになる。

- (1) 空欄(ア)～(ク)に入る適切な語句を答えよ。
- (2) 分泌される直前の(ウ)を含む神経細胞内の分泌小胞を特に何と呼ぶか。
- (3) 多くの場合(ウ)の分泌はカルシウムイオンにより引き起こされるが、どのようにして軸索末端部におけるカルシウムイオン濃度が上昇するのか。「電位依存性カルシウムチャネル」の存在場所と機能に触れつつ述べよ。
- (4) (ク)の膜にはカルシウムイオンの放出を担うイオンチャネルの他に、ATPのエネルギーを用いてカルシウムイオンを能動輸送するカルシウムポンプが存在する。このカルシウムポンプの存在意義を考察して述べよ。