

1 生物の代謝に関する次の文章を読み、以下の問(1)~(4)に答えよ。

代謝に伴う細胞内でのエネルギーのやりとりは(ア)を介して行われている。(ア)は、塩基である(イ)と糖である(ウ)が結合した(エ)に、リン酸が3個結合した化合物である。(ア)が(オ)と1個のリン酸に分解されるときには多量のエネルギーが放出されることから、リン酸どうしの結合は(カ)とよばれる。

呼吸は、酸素の存在下でグルコースなどの有機物を二酸化炭素と水に分解し、(ア)を合成する過程である。呼吸の過程は、細胞の(キ)で行われる解糖系、(ク)のマトリックスで行われるクエン酸回路、(ク)の内膜で行われる電子伝達系からなっている。

グルコースを呼吸基質とする場合、まず解糖系によって1分子のグルコースは2分子の(ケ)にまで分解される。この過程では、(コ)分子の(ア)が使われ、(サ)分子の(ア)が新たにつくられるため、差し引き2分子の(ア)が生成される。(ケ)は(ク)に入り、アセチル CoA となった後、(シ)と結合してクエン酸となる。クエン酸はイソクエン酸、 α -ケトグルタル酸、コハク酸、フマル酸、リンゴ酸を経て再び(シ)に戻る。グルコース1分子から生じる2分子の(ケ)がクエン酸回路に入った場合、この過程で生成される(ア)は2分子となる。電子伝達系では、解糖系やクエン酸回路で生じた水素が、NADH と $FADH_2$ の形で(ク)の内膜に運ばれ、水素イオンと電子に分かれる。電子が内膜の複数のタンパク質複合体に受け渡されていく際に、マトリックス側から内膜と外膜の間の空間へ水素イオンがくみ出され、水素イオンが再度マトリックスに流れ込む際のエネルギーを利用する酵素によって(ア)が合成される。この過程ではグルコース1分子あたり最大34分子の(ア)が生成される。

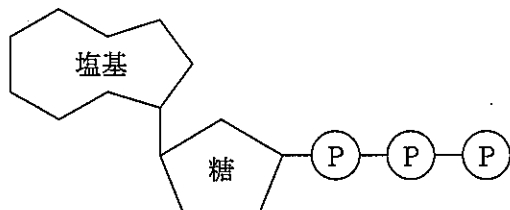
呼吸基質にはグルコースのような炭水化物以外に、タンパク質や脂肪も用いられる。タンパク質が呼吸基質となる場合には、まず、タンパク質は分解されてアミノ酸となり、アミノ酸は(ス)反応によって有機酸と有毒な(セ)に分解される。生じた各種の有機酸は、(ケ)やアセチル CoA への変換を経るものも含め、最終的にはクエン酸回路に入る。哺乳類では、この過程で生成した(セ)は肝臓に運ばれて毒性の少ない(ソ)に変えられ、体外に排出される。一方、脂肪が呼吸基質となる場合には、まず、脂肪は分解されて(タ)と(チ)になる。その後、(タ)は解糖系に入り、(チ)は順次分解されてアセチル CoA となりクエン酸回路に入る。

呼吸が酸素を用いる代謝系であるのに対して、酸素を用いずに有機物を分解して(ア)を合成する代謝系を発酵とよぶ。代表的なものには酵母が行うアルコール発酵や乳酸菌が行う乳酸発酵がある。いずれの場合も、グルコース1分子から得られる(ア)は解糖系による2分子のみであり、発酵によるエネルギーの生産効率は呼吸に比べて著しく低い。

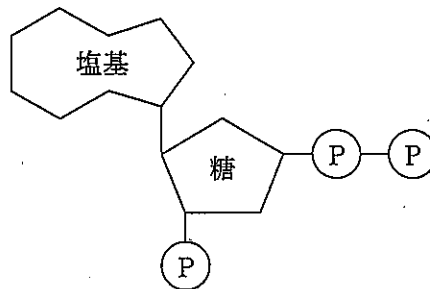
(1) 文章中の空欄(ア)~(チ)に入る最も適切な語句または数字を答えよ。

(2) 次の(A)~(D)の中から、(ア)の化学構造の模式図として適切なものを1つ選び記号で答えよ。ただし、図中の(P)はリン酸を表すものとする。

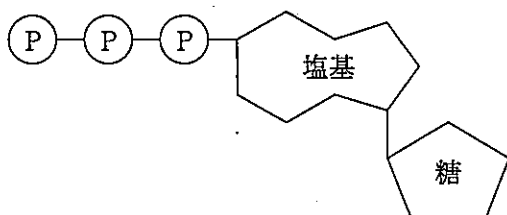
(A)



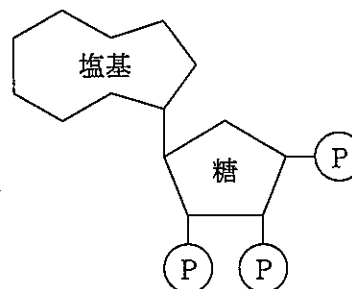
(B)



(C)



(D)



(3) 呼吸において、「酸素の消費」と「二酸化炭素の生成」はそれぞれ、解糖系、クエン酸回路、電子伝達系のいずれの過程で起こるか答えよ。複数の過程で起こるものについては、該当するものをすべて答えよ。

(4) 下線部について、この理由を50字以内で説明せよ。ただし、「有機物」と「無機物」という語句を使用し、呼吸と発酵の違いが分かるように記述すること。

2 真核生物の遺伝子発現に関する次の文章を読み、以下の問(1)~(4)に答えよ。

真核生物の多くの遺伝子では、転写によって mRNA 前駆体が合成された後、スプライシングによってそのヌクレオチド鎖の一部が取り除かれることで mRNA ができる。このとき、取り除かれる部位に対応する DNA 領域は(ア)とよばれ、それ以外の DNA 領域は(イ)とよばれる。また、スプライシングによって取り除かれる部位が変化することによって、1種類の mRNA 前駆体から2種類以上の mRNA ができることがあり、この現象は選択的スプライシングとよばれる。そのため生体内においては、ゲノムに存在する遺伝子数よりも多種類のタンパク質が合成される。

核内でできた mRNA は核外へ移動し、(ウ)においてタンパク質へと翻訳される。タンパク質が合成される際には、mRNA のコドンに対応するアミノ酸と結合した(エ)が、(ウ)上の mRNA のコドンと相補的に結合し、コドンの順番にしたがってアミノ酸が順次連結される。64種類のコドンと、タンパク質を構成する20種類のアミノ酸との対応を示したものは遺伝暗号表とよばれる。遺伝暗号は、ニーレンバーグやコラナ(コラーナ)らの実験によって解読された。

(1) 文章中の空欄(ア)~(エ)に入る最も適切な語句を答えよ。

(2) 次の(A)~(E)の記述のうち、正しいものを2つ選び記号で答えよ。

- (A) 転写の開始時には、複製起点に基本転写因子が結合する。
- (B) DNA の2本鎖のうち、RNA ポリメラーゼによる転写の際に鋳型となる DNA 鎖をセンス鎖という。
- (C) RNA ポリメラーゼは、転写の開始時にプライマーを必要とする。
- (D) mRNA の塩基1つが他の塩基に置き換わっても、タンパク質のアミノ酸配列には影響を及ぼさないことがある。
- (E) 翻訳によってできたタンパク質の中には、糖鎖の付加やリン酸化などの修飾を受けるものがある。

(3) 下線部について、ニーレンバーグやコラナらは、タンパク質合成に必要な mRNA 以外の成分を大腸菌から調製し、そこに人工的に合成したさまざまな塩基配列の mRNA を加え、どのようなアミノ酸配列をもつポリペプチドができるかを調べることで、各コドンに対応するアミノ酸を明らかにした。これと同様に2つの実験を行ったところ、以下の結果が得られた。

実験1：UGUGUG…(UGの繰り返し)の塩基配列をもつ人工 mRNA からは、バリンとシステインが交互につながったポリペプチドが合成された。

実験2：GGUGGU…(GGUの繰り返し)の塩基配列をもつ人工 mRNA からは、グリシン、バリン、トリプトファンのいずれかだけからなる3種類のポリペプチドが合成された。

これらの実験結果から、バリンおよびシステインはそれぞれどのような塩基配列のコドンによって指定されると考えられるか答えよ。

(4) ある遺伝子 A について、図 1 は、mRNA 前駆体の塩基配列を、図 2 は、mRNA の塩基配列を示したものである。遺伝子 A の mRNA の翻訳は、最初に現れる AUG から開始され、終止コドンの UGA で終了する。以下の問(i)~(iv)に答えよ。

```

1           20           40           60           80
|           |           |           |           |
5'- ACUUCAAGAAUGUACCAGGAGAUAGCUUCGUGUCAGGCGAUCGAUUUCGAGACCCCCGUUGC GGAUAGCGGAUCGAAACU
|           |           |           |           |
81          100         120         140         160
|           |           |           |           |
UAGGGCCUUCGACGAUAGAUCGAGCCGAGCUUGCAGAUCAUUAUCAUCGAUCGUGUGUAGAUCGAAAAAUGAGCUAA
|           |           |           |           |
161         180         200         220         240
|           |           |           |           |
UCGAUAGCUAGAUCGAUAGCUAGAAUCAGAAAGUGCAAGCCAAGGUGAAAACAGACUGGCUCGAUCGAUGUGGCUAGCGAU
|           |           |           |           |
241         260         280
|           |           |
GAAUCGAUACCCUUGUACCUAGCUAGAUCGAUAUGACCCUCGAUCGAUCCCGAU -3'

```

図 1

```

1           20           40           60           80
|           |           |           |           |
5'- ACUUCAAGAAUGUACCAGGAGAUAGCUUCGUGUCAGGCGAUCGAUUUCGAGACCCCCCGAGCUUGCAGAUCAUUAUCA
|           |           |           |           |
81          100         120         140         160
|           |           |           |           |
UCGAUCGUGUAAAAGUGCAAGCCAAGGUGAAAACAGACUGGCUCGAUCGAUGUGGCUAGCGAUGAAUCGAUACCCUUGUACC
|           |           |           |           |
161         180
|           |
UAGCUAGAUCGAUAUGACCCUCGAUCGAUCCCGAU -3'

```

図 2

- (i) 遺伝子 A に含まれる 2 つの (ア) の長さはそれぞれ何塩基か答えよ。
- (ii) 図 2 の mRNA が翻訳されてできるタンパク質は何個のアミノ酸からできているか答えよ。
- (iii) (ii) のタンパク質には、問(3)の実験 1 および 2 で明らかになったコドンで指定されるバリンおよびシステインはそれぞれ何個含まれているか答えよ。
- (iv) 選択的スプライシングによって、mRNA 前駆体から 2 つの (ア) とそれらに挟まれた 1 つの (イ) に対応する領域がまとめて取り除かれた場合、図 2 とは異なる mRNA ができる。このときにできる mRNA の塩基数、およびその mRNA が翻訳されてできるタンパク質のアミノ酸数をそれぞれ答えよ。

3

生物の生殖と発生について、以下の問(1)および(2)に答えよ。

(1) 次の文章を読み、以下の問(i)~(iii)に答えよ。

被子植物の胚のうの形成は若い子房の中の胚珠で起こる。胚珠内に形成された(ア) ($2n$)は減数分裂を行い4個の細胞を形成するが、うち3個は退化し、1個が(イ) (n)になる。(イ)では核分裂が(ウ)回連続して起こり、(エ)個の核が生じる。その後、いくつかの核のまわりは仕切られて細胞化し、2個の核は極核として中央に残り、胚のうが完成する①。

花粉の形成は若い葯の中で起こる。(オ) ($2n$)は減数分裂を行い、それぞれが(カ) (n)とよばれる4個の未熟花粉の集まりとなる。未熟花粉は体細胞分裂を行い、大小2個の細胞ができる。その後、小さい細胞が大きい細胞の内部に取り込まれて(キ)となる過程を経て、成熟した花粉となる。

花粉がめしべの柱頭に付着すると発芽し、花粉管が伸びる。花粉管内で(キ)は体細胞分裂を行い、2個の(ク)となる。2個の(ク)は胚のう内のそれぞれ別の細胞と融合する。これを重複受精②という。

(i) 文章中の空欄(ア)~(ク)に入る最も適切な語句または数字を答えよ。

(ii) 下線部①について、完成した胚のうの図を解答欄に描け。ただし、珠孔は解答欄の上側に位置することとする。また、胚のうを構成するそれぞれの細胞の名称を書き込み、矢印を引いて示し、核が細胞内に存在する場合は小さい黒丸(丸を塗りつぶすこと)で核を示せ。

(iii) 下線部②について、胚のう内の受精が行われた2つの細胞は、種子ではそれぞれ何になるか答えよ。

(2) 次の文章を読み、以下の問(i)~(iii)に答えよ。

脊椎動物の体は、頭と尾を結ぶ前後軸、背腹軸、左右軸の3つの体軸をもち、左右相称の形をしている。カエルでは未受精卵の段階でほぼ前後軸が決まっている。受精が起こると卵の表層が細胞質に対して約(ケ)度回転し(これを表層回転という)、精子の進入点の反対側に(コ)が生じる。(コ)が生じた側が背側になり、背腹軸が決まる④。前後軸と背腹軸が決まると左右軸も決まる。

(i) 文章中の空欄(ケ)および(コ)に入る最も適切な語句または数字を答えよ。

(ii) 下線部③について、将来、前後軸となるのは、未受精卵においてどういう軸か20字以内で説明せよ。

(iii) 下線部④について、カエルの受精卵の背側が決まるしくみを、「 β カテニン」、[ディシエベルド]、[表層回転]の3語を用いて140字以内で説明せよ。

4 体内環境を維持するしくみに関する次の文章を読み、以下の問(1)~(5)に答えよ。

① 分泌腺には内分泌腺と外分泌腺がある。 ホルモンは内分泌腺から血液中に分泌され、血液を介して特定の器官に作用する。ホルモンが作用する器官は標的器官とよばれ、特定のホルモンと結合する(ア)をもつ標的細胞が存在する。標的細胞の(ア)にホルモンが結合すると、特定の反応が起こる。一般に内分泌系による体内環境の調節では、ホルモンが血流によって標的器官に運ばれるため、自律神経系による調節に比べて、反応が起こるまでに時間がかかる。ホルモンの分泌を調節するうえで中心的なはたらきをしているのは、間脳にある(イ)とその下の脳下垂体である。(イ)から分泌されて脳下垂体前葉に作用する放出ホルモンや放出抑制ホルモンは、神経細胞から直接血液中に分泌される。神経細胞がホルモンを分泌する現象を(ウ)といい、ホルモンを分泌する神経細胞を(ウ)細胞という。

③ ホルモンは微量で大きな作用を及ぼすため、血液中に分泌されるホルモンの量は正確に調節されている。(エ)から分泌されるチロキシンの量が不足すると、(イ)から(オ)放出ホルモンが分泌される。この放出ホルモンの作用で脳下垂体前葉から(オ)が分泌される。さらに、(オ)は(エ)に作用して、チロキシンの分泌を促進する。その結果、血液中のチロキシンの量が増加することになる。増加したチロキシンの量はやがて減少する。

(1) 文章中の空欄(ア)~(オ)に入る最も適切な語句を答えよ。

(2) 下線部①について、以下の問(i)および(ii)に答えよ。

(i) 外分泌腺を2つ答えよ。

(ii) 内分泌腺と外分泌腺の構造的および機能的な違いを60字以内で説明せよ。

(3) 下線部②について、次の(A)~(E)のうち、自律神経系に属する神経系をすべて選び記号で答えよ。

(A) 運動神経系

(B) 感覚神経系

(C) 交感神経系

(D) 中枢神経系

(E) 副交感神経系

(4) 下線部③について、以下の問(i)および(ii)に答えよ。

(i) 脳下垂体後葉にまで伸びている(ウ)細胞が分泌するホルモンのうち、腎臓での水分の再吸収を促進するはたらきをもつホルモンは何か答えよ。

(ii) (i)のホルモンには、腎臓での水分の再吸収を促進する以外のはたらきとしてどのようなものがあるか、次の(A)~(E)から正しいものをすべて選び記号で答えよ。

(A) 血糖値を上げる。

(B) 血糖値を下げる。

(C) 血圧を上げる。

(D) 血圧を下げる。

(E) 腎臓でのナトリウムイオンの再吸収を促進する。

(5) 下線部④について、以下の問(i)および(ii)に答えよ。

(i) 増加したチロキシンの量はどのようなしくみで減少するか 120 字以内で説明せよ。

(ii) 最終産物や最終的なはたらきの効果が、前の段階に戻って影響を及ぼすことを何というか答えよ。