

問題

《ATP 2》

次の文1, 2を読み, 問1～問7に答えよ。

(25点)

[文1] 筋収縮は, ATPがADPとリン酸に分解するときに放出されるエネルギーによって起こる。筋収縮の際に使われるATPは, クレアチンリン酸とADPの反応, 酸素を用いて有機物を分解する呼吸, 酸素を用いないで有機物を分解する解糖, の3つの経路によって供給される。

この状態では呼吸と解糖が行われない。

問1 酸素のない条件下, かつ解糖系を阻害した状態で筋肉を収縮させたところ, 数秒の間は筋収縮が起こったがやがて収縮しなくなった。このとき, 筋収縮を行わせる前に比べて, ①減少している物質は何か, 逆に, ②増加している物質は何か, それぞれ次のア～カからすべて選び, 記号で答えよ。(4点)

ア ATP イ ADP ウ クレアチン
エ クレアチンリン酸 オ 乳酸 カ グルコース

問2 生筋とは, 生体から取り出した直後の筋肉である。一方, 生筋を50%グリセリン溶液に長時間浸して得られるグリセリン筋は, 細胞内外の膜構造や, 細胞内のトロポニン, トロポミオシンなどは失われているが, 筋収縮に必要なタンパク質の構造(アクチンフィラメントやミオシンフィラメントなど)は残っているものである。これらに次の表に示すような操作を行ったとき, どのような反応を示すか。次の表の①～⑥について, 収縮する場合は○を, 収縮しない場合は×をそれぞれ答えよ。ただし, ATPやカルシウムイオンは細胞膜を透過できないことを踏まえること。(6点)

操 作	生 筋	グリセリン筋
電気刺激を与える	①	②
ATP 溶液を滴下する	③	④
カルシウムイオンを含む溶液を滴下する	⑤	⑥

[文2] ブドウの果実をすりつぶしてガラスびんに入れ, 25～30℃に保っておくと, 2～3日目くらいから気泡の生じる様子が観察される。これはブドウの果実の表面に付着していた酵母のアルコール発酵によるものと考えられる。いま, 酵母のアルコール発酵について調べるために, 酵母の一種で製パンに用いられる, 生きたパン酵母(生パン酵母)を用いて次のような実験を行った。

実験

- I 蒸留水 35 mL に生パン酵母 10 g を加えて酵母液を作成した。
- II 1% グルコース水溶液 20 mL をビーカーにとり, 酵母液 10 mL を加えてよく混合した。
- III IIの混合液 5 mL を注射器に吸入し, 注射器の針を上に向けて中の空気を押し出した後, 針先をゴム栓に差し込んだ。なお, 注射器のピストンは滑らかに動くものとする。

Ⅳ Ⅲの装置を4つ用意し、それぞれ30℃、40℃、50℃、60℃の水を入れたビーカーの中に立てた(図1)。

Ⅴ 注射器の目盛りを利用して注射器内にたまった気体の体積を5分ごとに測定したところ、図2の結果を得た。なお、温度は一定に保ったものとする。

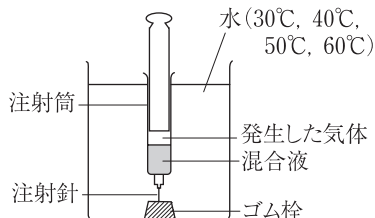


図 1

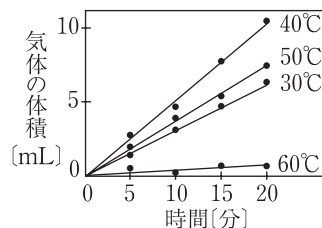
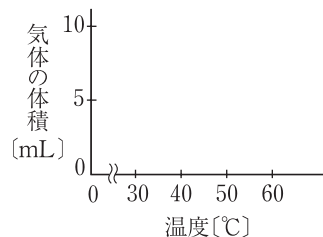


図 2

Ⅵ Ⅴの測定終了後、30℃のビーカーに入れた注射器から混合液をすべて押し出し、発生した気体だけを注射器内に残した。その注射器で石灰水を吸い取り、注射器を振って注射器内の気体と石灰水をよく混ぜたところ、石灰水が白く濁った。残る3つの注射器についても同様の結果が得られた。

問3 注射器内にたまった気体は何か。物質名を答えよ。(3点)

問4 図2について、横軸に温度[℃]、縦軸に気体の発生量[mL]をとった折れ線グラフを作成せよ。ただし、縦軸の値は測定開始20分後の時点で注射器内にたまっていた気体の体積とする。(4点)



問5 問4より、酵母のアルコール発酵と温度との関係についてわかることを簡潔に述べよ。なお、後述する問7の問題点は無視すること。(2点)

問6 なぜ問5のような関係が成り立つのか、簡潔に述べよ。(3点)

気体の体積の変化は、代謝速度の変化だけによるものではない。

問7 [文2]の実験操作を踏まえると、その実験結果(測定結果)にはある問題点が存在する。ある問題点とは一体何か、温度と気体の体積の間に成り立つ関係に注目し、説明せよ。また、その解決方法を提案せよ。(3点)

解答

問1 ① ア, エ ② イ, ウ

問2 ① ○ ② × ③ × ④ ○ ⑤ ×
⑥ ×

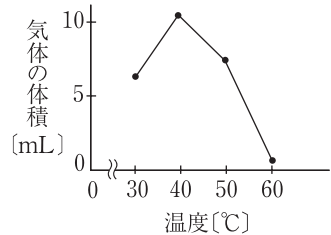
問3 二酸化炭素

問4 右図

問5 酵母のアルコール発酵には最適温度が存在する。

問6 酵母のアルコール発酵は細胞内のさまざまな酵素の触媒作用によって行われており、その酵素に最適温度が存在するため。

問7 気体の体積は温度により変化するが、実験では温度条件を同一にしていないので、発生した気体の体積の差には、代謝速度の違いと温度の違いの両方が影響している。したがって、気体の状態方程式を用いて同一の温度条件下においた場合の気体の体積に換算し直す。



解説

⑦のつけどころ

問1, 2は、グリセリン筋を用いた実験考察問題である。筋収縮の分子機構を押さえたうえで、グリセリン筋と生筋の違いから、何が起こり何が起こらないかを判断していく必要がある。『必修テーマ』で確認した、筋収縮の仕組みとグリセリン筋の特徴に関する知識を生かそう。

問3～7は、アルコール発酵に関する実験考察問題である。生体内で起こる化学反応のほとんどは、酵素反応の連続であることに注目しよう。『必修テーマ』で確認した、アルコール発酵について思い出そう。

問1 酸素のない条件下なので、呼吸は起こらない。また、解糖系を阻害しているので、解糖も起こらない（解糖の第一段階は解糖系である）。よって、呼吸や解糖でグルコースが分解されたり、解糖で乳酸が生成されたりはしないことがポイントである。つまり、この状態ではもともと筋肉中に存在するATPとクレアチンリン酸とADPからつくられるATPのみで筋収縮が行われる。また、設問文中に「やがて収縮しなくなった」とあることから、筋肉中のクレアチンリン酸はすべてADPと反応してクレアチンとなり、合成されたATPもすべて筋収縮に利用されたと考えられる。よって、筋収縮にともなって減少する物質はATPとクレアチンリン酸、逆に増加する物質は、それらが分解されてできるADPとクレアチンである。

🔍発想の鍵

まず、3つの経路のうち、どれが動いていてどれが動いていないのかを考える。

問2 グリセリン筋には膜構造が存在しないことを踏まえよう。

・電気刺激を与えた場合

生筋は次のような流れで収縮する。

- ① 生筋の筋繊維（筋細胞）の細胞膜が興奮
 - ② T管を介して興奮が伝わった筋小胞体が、カルシウムイオンを放出
 - ③ カルシウムイオンがトロポニンに結合
 - ④ トロポミオシンが移動することで、アクチンフィラメントのミオシン結合部位が露出
 - ⑤ ATPを分解してもち上がったミオシンの頭部が、アクチンフィラメントに結合
 - ⑥ ミオシンの頭部がリン酸とADPを放出し、首振り運動
 - ⑦ アクチンフィラメントがたぐり寄せられて筋肉が収縮
- 一方、グリセリン筋は、電気刺激を受容する細胞膜がないので、電気刺激では収縮しない。

・ATP溶液を滴下した場合

生筋の場合、ATPが細胞膜を透過できないので変化は起きず、収縮しない。一方、グリセリン筋の場合、細胞膜が壊れておりATPがミオシンの頭部まで到達するので、収縮する。

・カルシウムイオンを含む溶液を滴下した場合

生筋は、ATPの場合と同様、カルシウムイオンが細胞膜を透過できないので変化は起きず、収縮しない。一方、グリセリン筋は、カルシウムイオンを含む溶液が滴下されたとしても、ATPが失われているため、収縮しない。

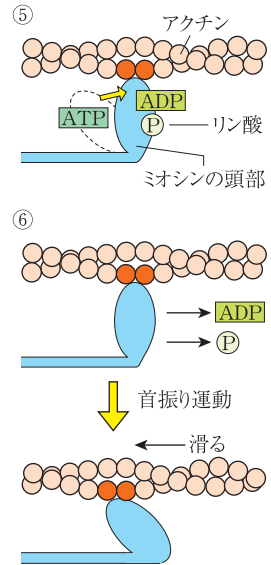
問3 「解答」参照。アルコール発酵は次のような化学反応式で表される。



(グルコース) (エタノール)

問4～6 問4では設問文に従って、図2から測定開始20分後の気体の体積を読み取り、グラフを作成すればよい。

問4で作成したグラフから、気体の体積は40℃で最も多く、40℃より温度が低くなっても高くなっても少なくなることがわかる。気体は酵母のアルコール発酵によって発生したものであるため、酵母のアルコール発酵には、最も代謝速度が大きくなる最適温度が存在する。これは、アルコール発酵が酵母の細胞内に存在する酵素の働きによって行われており、酵素の反応速度には一般に最適温度が存在するためである。



アクチンフィラメントとミオシンの頭部の相互作用

◀ トロポニン、トロポミオシンも失われているため、相互作用が可能。

☑ 覚えておきたい

アルコール発酵に関する実験とともに、反応の結果生じるCO₂の確認方法を押さえておこう。

問7 この実験では、注射器内にたまった気体の体積を各温度条件下でのアルコール発酵の代謝速度の指標としている。しかし、気体の体積は温度によって変わるので、測定値の差が代謝速度の違いによるものなのか、単なる温度の違いによるものなのか判断できない。よって測定値を同一の温度条件下においた場合の値に換算する必要がある。

 **発想の鍵**

注射器のピストンは滑らかに動くので、注射器内の気圧はつねに大気圧に等しいとみなすことができる。

プラスα

「発酵」は、「微生物による糖質の嫌気的な分解」を意味するが、広義には「微生物による有用な物質生産」を指す。「腐敗」も微生物による有機物の分解反応の一種であるが、この場合には「微生物による有害な物質生産」を意味しており、一般に、タンパク質やアミノ酸など、窒素を含む化合物を基質にする反応が多い。