

科目名	教員名	6月3日4時限 試験時間 60分	
生命科学	寺田 透		
指定クラス	解答用紙	計算用紙	持ち込み
理 I 26・27 組	3枚	1枚	無

試験問題は全部で3ページある。解答用紙には問題の番号を明記すること。また、計算式や式の導出の過程も記述すること。ただし、解答用紙は追加できないので、筆算等は計算用紙で行い、解答用紙には記載しないこと。

問1 以下の問いに答えよ。ただし、アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、 $10^{0.1} = 1.26$ 、 $10^{0.2} = 1.58$ 、 $10^{0.3} = 2.00$ 、 $10^{0.4} = 2.51$ 、 $10^{0.5} = 3.16$ とする。

(1) 酸 HA が H^+ と A^- に解離する反応の平衡定数を K_a とする。このとき、酸解離定数 pK_a は、

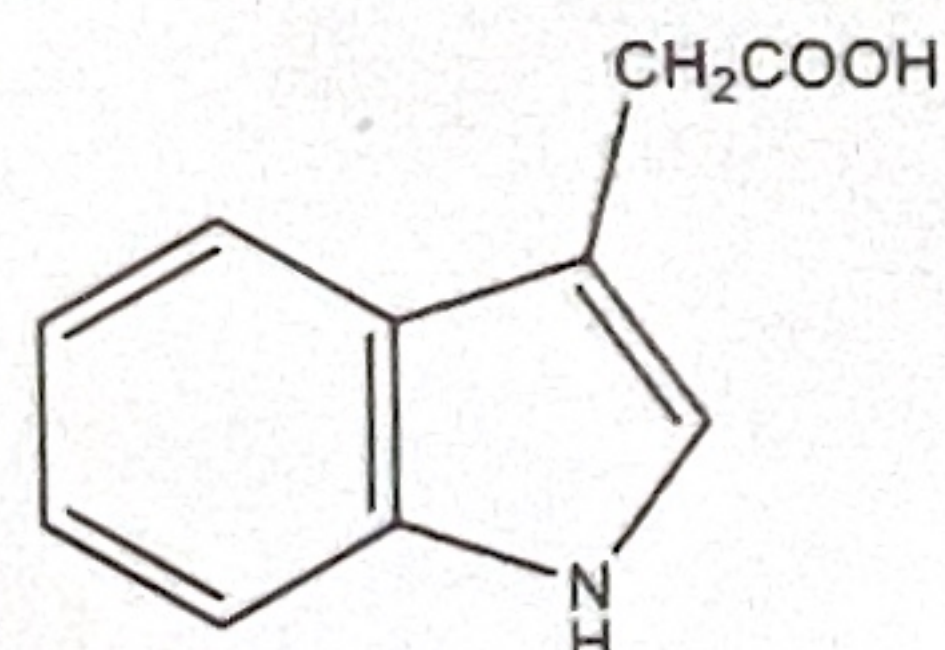
$$pK_a = -\log_{10} K_a$$

で与えられる。ある pH における酸 HA の解離度 α を与える式を、 pK_a と pH の関数として表せ。ただし、 α は以下で定義される。

$$\alpha = \frac{[A^-]}{[A^-] + [HA]}$$

(2) 300 bp の DNA を 30 サイクルのポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) によって増幅し、最終的に 1 μg の産物を得るのに必要な、鋳型 DNA の分子数を有効数字 1 桁で答えよ。ただし、DNA は二本鎖で 1 分子と数える。なお、1 bp の平均分子量は 616 とする。

(3) 細胞膜には小さな非荷電分子は透過できるが、荷電分子は透過できないという性質がある。植物ホルモンの 1 種、インドール酢酸 (IAA) は、IAA の輸送を行うタンパク質が全く存在しないときでも、一部が細胞膜を透過し、細胞内に分布することが知られている。細胞内の pH が 7.0、細胞外の pH が 5.5 の時、細胞外の IAA の濃度に対する細胞内の IAA の濃度の、平衡状態における比を求めよ。IAA の pK_a を 4.8 とし、IAA の濃度は、解離状態・非解離状態を区別しないものとする。また、IAA の構造式を以下に示す。



(4) 互いに競争関係にある 2 種の生物からなる系を考える。種 1 および種 2 の個体群密度をそれぞれ N_1 、 N_2 とした時、個体群密度の時間変化は以下に従うものとする。

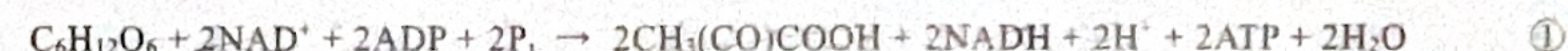
$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 \left(1 - \frac{N_1 + \alpha_{12} N_2}{K_1} \right) N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 \left(1 - \frac{N_2 + \alpha_{21} N_1}{K_2} \right) N_2$$

ここで、パラメータ r_1 、 r_2 、 K_1 、 K_2 、 α_{12} 、 α_{21} は正の定数である。このとき、アイソクライン分析を行い (答案にグラフを描くこと)、種 1 が勝ち、種 2 が消滅する条件を求めよ。

次ページに続く

問 2 細胞では解糖系とクエン酸回路により、糖 (グルコースなど) の酸化反応を行い、この結果生じた還元剤 ($NADH$ 、 $FADH_2$) が、呼吸鎖により O_2 を酸化する過程で ATP を合成する。解糖系では①に示す通り、1 mol のグルコース ($C_6H_{12}O_6$) を 2 mol のピルビン酸 ($CH_3(CO)COOH$) に変換する過程で、2 mol の ATP と 2 mol の $NADH$ を生成する。筋肉では激しい運動などにより ATP の需要が高まり、酸素の供給が間に合わないとき、②の反応が優勢となり、 $NADH$ を消費して乳酸 ($C_3H_6O_3$) を生成する。これについて以下の問いに答えよ。



(1) NAD^+ 還元とピルビン酸還元を半電池式をそれぞれ記せ。

(2) ピルビン酸の還元反応に伴う標準酸化還元電位を -0.185 V 、 NAD^+ の還元反応に伴う標準酸化還元電位を -0.315 V としたとき、反応②の標準自由エネルギー変化を求めよ。ただし、ファラデー定数 $F = 96,485 \text{ C mol}^{-1}$ とする。

(3) 1 mol のグルコースから 2 mol の乳酸を生成する反応③の標準自由エネルギー変化を求めよ。ただし、反応①の標準自由エネルギー変化を -85 kJ mol^{-1} 、ATP の加水分解 (反応④) の標準自由エネルギー変化を $-30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$ とする。



(4) 筋肉では反応③の代わりに、反応①、②を介して ATP を合成し、反応③により放出される標準自由エネルギー変化の一部を、ATP の加水分解の標準自由エネルギー変化に変換している。このときのエネルギー変換効率を百分率 (%) で答えよ。

(5) 以下は、筋肉において、酸素の供給が間に合わないとき、②の反応が優勢となる背景を説明した文章である。(あ) ~ (き) に当てはまる語句を、語句リストから選んで答えよ。同じ語句を複数回使っても構わない。

反応①の過程で正味の ATP 合成が起こるのは、1,3-ジホスホグリセリン酸 (1,3-DPG) を 3-ホスホグリセリン酸 (PGA) に変換する PK 反応である。この反応に先立つ GAPDH 反応では、グリセルアルデヒド 3-リン酸 (GAP) を (あ) により (い) したうえで、リン酸を結合し、1,3-DPG を生成している。この過程で、アルデヒドが (う) に (い) され、リン酸と (え) を形成する。GAPDH 反応は、標準自由エネルギー変化が (お) であるため、反応を進行させるためには、(あ) が (か) よりも十分に (き) が必要である。反応①により $NADH$ が増えると、GAPDH 反応が進行せず、PK 反応による ATP 合成にも支障をきたすため、これを防ぐために $NADH$ を消費して NAD^+ を生成する反応②が優勢となる。

語句リスト： 正、負、酸化、還元、多い、少ない、アルコール、カルボン酸、エステル、酸無水物、 NAD^+ 、 $NADH$ 、ADP、ATP

次ページに続く

問3 遺伝子 X と遺伝子 Y から作られるタンパク質 X、Y は、お互いの転写を抑制する転写因子である。時刻 t におけるタンパク質 X と Y の濃度を $X(t)$ 、 $Y(t)$ とすると、これらの時間変化は、以下で与えられる。

$$\begin{aligned}\frac{dX(t)}{dt} &= c - kY(t) \\ \frac{dY(t)}{dt} &= c - kX(t)\end{aligned}$$

ここで、 c 、 k は正の定数、 $X(t) \geq 0$ 、 $Y(t) \geq 0$ である。時刻 0 におけるタンパク質 X、Y の濃度を $X(0) = a$ 、 $Y(0) = 0$ とする。ただし、 a は正の定数で、 $c > ka$ を満たす。また、時刻 0 より後に $X(t)$ または $Y(t)$ が初めて 0 となる時刻を T ($T > 0$) とする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $0 \leq t \leq T$ において、 $X(t) + Y(t)$ を表す式を求めよ。
- (2) $0 \leq t \leq T$ において、 $X(t) - Y(t)$ を表す式を求めよ。
- (3) $0 \leq t \leq T$ において、 $X(t)$ 、 $Y(t)$ を表す式をそれぞれ求めよ。
- (4) 時刻 T に 0 となるのは $X(T)$ 、 $Y(T)$ のどちらか答えよ。また、 T を求めよ。
- (5) $t > T$ における、 $X(t)$ および $Y(t)$ を表す式をそれぞれ求めよ。 T 、 $X(T)$ 、 $Y(T)$ を用いても良い。