

4章 細胞・タンパク質④

問題

■ 演習

【1】

解答

- A 問1 ア-ブフナー イ-活性部位 ウ-失活 エ-フィードバック
問2 総称：補酵素
具体例：NAD, FAD, ビタミン B₁, ビタミン B₂ などから2つ
問3 高温, 最適 pH から大きく外れるような pH
問4 必要な物質を必要ときに必要な量だけを合成することで, 無駄を防ぐことができる。
- B 問5 ア-アミラーゼ イ-トリプシン ウ-リパーゼ
エ-脱水素酵素(デヒドロゲナーゼ) オ-カタラーゼ カ-グルコース
キ-タンパク質 ク-フマル酸 ケ-二酸化炭素(あるいはカルボキシ基)
コ-アミノ酸

解説

- A タンパク質や酵素の基礎事項の確認問題である。
- 問1 ア：人名については, ノーベル賞を受賞するくらいの大きな発見をした学者については覚えておきたい。ブフナーは1907年に, 酵母での発酵の研究に関して, ノーベル化学賞を受賞している。
イ：酵素と基質の結合部位を, 活性部位という。タンパク質は立体構造をとるので, 基質と酵素がカギと鍵穴のようにぴったりと収まれば, 酵素基質複合体となり反応が起こる。
ウ：活性を失うことを, 失活という。
エ：フィードバックは, 生体内での物質合成において, いろいろな反応でみられる。
- 問2 酵素と結合する低分子の有機化合物や金属イオンを, 補助因子という。酵素のなかには, 補助因子と結合しないと活性化しないものがある。補助因子のうち, とくに低分子の有機化合物を補酵素という。
- 問3 無機触媒と異なり, 酵素には最適温度と最適 pH がある。
・最適温度…酵素の反応速度が最も大きくなる温度。ふつう 30～40℃。
・最適 pH…酵素の反応速度が最も大きくなる pH。多くの酵素では pH6～8。
- 問4 たとえば, A→B→C→D の順で反応が起こり, D という物質がつくられるとする。
D の物質が十分量合成されたならば, C→D の反応を止めればよい。しかし, それでは B や C が無駄になってしまう。体内では, 原材料となる物質は限られており, それをさまざまな酵素によって何段階も経ていろいろな物質を合成している。よって, A は他の反応でも必要とされることも多く, B や C を無駄につくってしまうのは, 単純にもったいない。また,

そのために必要としたエネルギーなども無駄となる。そこで、一連の反応の最初の段階 (A → B) を止めれば、無駄を防ぐことができる。それには、最終生成物である D (または D の誘導体) が直接、反応を抑制すればよい。こうした反応を、フィードバックという。

フィードバックによって、一連の反応が抑制される場合を負のフィードバック、促進される場合を正のフィードバックという。

B 酵素の種類と反応系に関する問題である。

問5 代表的な酵素とその作用は以下の表のようである。

加水分解酵素	炭水化物分解酵素	アミラーゼ	アミロースを分解する
		マルターゼ	マルトースを分解する
		セルラーゼ	セルロースを分解する
	タンパク質分解酵素	ペプシン	タンパク質をポリペプチドまで分解する
		トリプシン	タンパク質をポリペプチドまで分解する
		ペプチダーゼ	ペプチドをアミノ酸に分解する
	脂質分解酵素	リパーゼ	脂肪を脂肪酸とモノグリセリドに分解する
ATP 分解酵素	ATP アーゼ	ATP を ADP とリン酸に分解する	
酸化還元酵素	脱水素酵素(デヒドロゲナーゼ)		基質から水素を除去する
	酸化酵素(オキシダーゼ)		脱水素した水素と酸素を結合する
	過酸化水素分解酵素(カタラーゼ)		過酸化水素を水と酸素に分解する
脱離酵素	脱炭酸酵素(デカルボキシラーゼ)		基質から二酸化炭素を脱離する
転移酵素	アミノ基転移酵素(トランスアミナーゼ)		アミノ酸からアミノ基を取り、他の物質(有機酸など)に転移する

【2】

解答

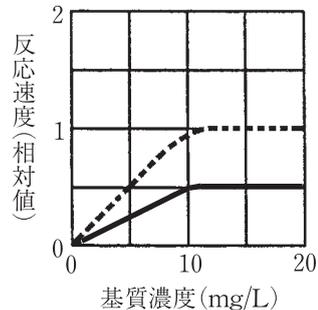
問1 ア-A イ-C

問2 液胞中には最適pHが約2.8と約5.5と、異なる2種類のタンパク質分解酵素が存在すると考えられる。(49字)

問3 (い)

問4 (a) 酵素濃度に対して基質濃度が過剰であると、すべての酵素が酵素基質複合体を形成し、それ以上基質が増えても酵素基質複合体は増えないから反応速度は上昇しない。(75字)

(b) (右図)



問5 温度が高いほど反応速度が大きい。しかし、55℃では時間が経つにつれて酵素が変性して失活する。約12秒後にはほとんどの酵素が失活し、それ以上生成物量は増加しない。(80字)

解説

問1 ペプシンの最適pHはおよそ2、トリプシンの最適pHはおよそ8である。ペプシンは胃に分泌されてはたらくタンパク質分解酵素であるが、胃液中には塩酸が分泌されているのでその環境下で最も反応が大きくなるようになっている。トリプシンは十二指腸に分泌されるタンパク質分解酵素である。胃から小腸へ消化物が送られるときには、酸を中和するためにアルカリ性の膵液が分泌される。トリプシンはこの環境下ではたらく。

問2 グラフに2つのピークがあることがポイントである。1つの酵素では最適pHは1つなので、ピークが2つあることから2種類の酵素があると考えられる。

液胞中には多くの加水分解酵素が含まれている。それらの酵素は、細胞の活動において要らなくなった物質を分解するためだけでなく、アポトーシスにもかかわっている。道管は成熟すると死細胞で細胞壁しかない。これは、道管になる細胞がアポトーシスによって自分の細胞を殺したからである。そのときに、液胞が中心的な役割を担うことが知られている。

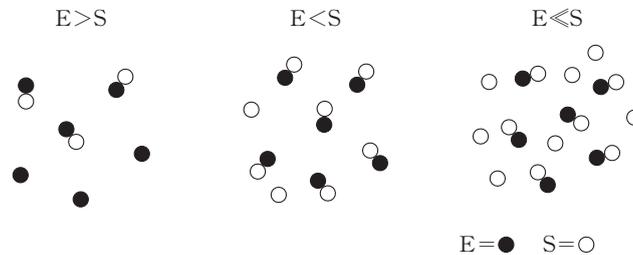
問3 酵素反応は $E+S \rightarrow ES \rightarrow E+P$ の流れで進む。EとSの結合は逆反応もあるが、非常に速い反応であるため、酵素反応全体の速度を決めるのは $ES \rightarrow E+P$ の反応である。よって、ESの濃度が高い(量が多い)ほど反応速度は大きい。

また、ふつう酵素反応は基質量が多いほど反応速度は大きいので、反応の初期ほど反応速度は大きい(時間が経つにつれて基質は減少していくから)。よって、グラフより(い)と(う)が適しているとわかる。(い)と(う)を比較すると、一番の違いは反応時間0～5分である。図2のグラフでは、0～5分のとき生成物量は時間の経過にともない直線的に増加している。つまり、時間あたりの反応の進み具合(=反応速度)は一定である。(う)では0～5分間にESが大きく減少している。もしこうであれば、反応速度も大きく低下しているはずであ

る。よって、図2と合わないため、(い)が正解となる。

問4

- (a) 前問で書いたように、反応速度はES(酵素基質複合体)の濃度で決まる。酵素に対して基質が十分に存在すると、ほぼすべての酵素が基質と結合してESの状態となる。



単位時間あたりに酵素が結合できる基質の数は決まっているので、どれだけ基質が多くても酵素が増えない限り、反応速度は大きくならない。

- (b) たとえば、酵素が10個あって基質が100個あったとする。1つの酵素が1つの基質と反応して基質を分解するのに1秒かかるとすると、1秒では10個の基質を分解できる。酵素が半分の5個になれば、1秒では5個の基質しか分解できない。つまり、基質濃度が同じとき、酵素濃度が1/2になれば反応速度も1/2である。

問5 55℃のときのグラフでは、反応の初期も生成物量のグラフが直線ではなく曲線になっている。これは、反応速度が徐々に小さくなっていることを示す。つまり、55℃という温度下では、酵素は時間と共に変性して失活するのである。よく、高温では酵素は失活するという内容が問われるが、100℃のような高温でない限り数秒であれば反応は起こる。

【3】

解答

問1 $C_3H_4O_3 + X \cdot H_2 \rightleftharpoons C_3H_6O_3 + X$

問2 A_4 が多い-筋肉, 肺 B_4 が多い-腎臓, 心臓

問3 $A_4 : A_3B : A_2B_2 : AB_3 : B_4 = 1 : 4 : 6 : 4 : 1$

問4 (キ), (シ)

問5 ・四次構造となる段階で, 組織ごとにA鎖とB鎖の結合の仕方に違いがある。
・組織ごとにA鎖とB鎖が分解される速度に違いがある。

いずれか1つ

問6 母親の子宮内では酸素が少ない状況にあるので, A鎖の多い構成になっている。しかし, 出生後は酸素が多い状況となるため, B鎖の多い構成になる。

解説

問1 呼吸の過程では, グルコース→ピルビン酸という反応過程がある(詳細は呼吸の分野で学習する)。乳酸菌や脊椎動物の筋肉内では, グルコース→ピルビン酸→乳酸という解糖とよばれる反応過程があり, ATPを合成している。この反応に関与しているのが, 乳酸脱水素酵素(LDH)である。

問題文中にピルビン酸の分子式が与えられていることと, 「ピルビン酸を還元して乳酸を生成する反応」にLDHがかかわることが書かれている。これより, 解答のような反応式を導くことができる。ただし, この内容は呼吸を学習した後ならば, 知識として覚えておかなければならないことである。

問2 図1の電気泳動結果を読み取る。電気泳動のバンドが太く出ているところは, それだけ酵素が多いということである。肺では, ほとんど A_4 しか存在していないことがわかる。

問3 順列組み合わせの問題である。AとBの並び順は

A 4個: AAAA

A 3個, B 1個: AAAB, AABA, ABAA, BAAA

A 2個, B 2個: AABB, ABAB, ABBA, BBAA, BABA, BAAB

A 1個, B 3個: ABBB, BABB, BBAB, BBBA

B 4個: BBBB

となる。A鎖どうし, B鎖どうしは同じもので見分けがつかないので, 上の並び順の組み合わせ数がそのままアイソザイムの比と考えられる。

問4

(ア)~(オ): 一般に, 酸素消費量の多い組織とは, 呼吸によるATP合成が盛んな組織と考えられる。筋肉, 心臓は筋収縮のエネルギーとしてATPを合成している。腎臓では能動輸送によって無機イオンなどの再吸収が行われているので, 多量のATPを必要とする。また, 脳も常にはたらいっているため, 呼吸は盛んである。以上のことも踏まえると, いずれもあてはまらない。

(カ), (キ): この両者は反対の内容を述べている。酸素の少ない筋肉中では, 酸素を消費しない解糖が行われる。筋肉で A_4 が多いことから, (キ)が正しいと考えられる。

(ク), (ケ): 酸化と還元の違いが逆なので、ともに誤りである。

(サ)~(シ): 図2の電気泳動結果をみると、Bが多いほど陽極にバンドが現れている。つまり、Bはマイナスに荷電していると考えられる。側鎖にカルボキシ基をもつアミノ酸が多いほど、タンパク質全体はマイナスに荷電する($-\text{COO}^-$ となるので)。よって(シ)が正しい。

問5 A鎖とB鎖の合成速度に差がないということは、四量体となるときに違いがあるのか、あるいは合成されてから分解されるのに違いがあるのか、2通りが考えられる。この問題の条件からだけではどちらかわからないので、どちらも正解としてよいだろう。

問6 図1より、心臓のように酸素が多い状況で呼吸を行う組織でB鎖が多い傾向がある。よって、生まれてからはB鎖が多く、胎内ではA鎖が多いと考えられる。

添削課題

解答

問1 ②

問2 13

問3 (ii), (v)

問4 (1) ① (2) x 切片-③ y 切片-④ (3) ②

解説

問1 グラフ読み取りの問題では、縦軸と横軸が何を示しているのかしっかり確認したい。ここでは、縦軸は反応速度であり、それも相対値である。相対値とは、何かを1(あるいは100など)として、そこからどのくらいの違いがあるか数値化したものである。図1では、それぞれの温度において保温する前を100、としている。つまり、30℃と40℃のときの縦軸の100は異なるものを示している。よって、②にあるように30℃と40℃の反応速度が等しいのではなく、両者とも反応前と保温後で反応速度が変わらなかったことを示している。

問2 図1のグラフが、50℃で5分保温したあとのもので、反応速度は50となっている。10分間保温では1/4になるのだから25である。反応速度が半減する時間は5分と変わらないので、15分間保温では1/8で12.5となる。

問3 この問いでも、ここでの「反応速度」が何を指しているのかに注意しなくてはならない。また、酵素Bは最適温度が65℃である点にも注意である。

(i) 保温させる前も保温させた後も、反応は65℃である。30℃、40℃ともに保温による影響はなく反応速度は100と考えられるので、これは誤りである。

(ii) 30℃と40℃の比較同様、40℃と60℃でも同じと考えられるので正しい。

(iii) 70℃は最適温度以上なので、酵素Aと同様に反応速度は落ちるはずである。よって誤り。

(iv) これも、(iii)と同様に考えてよいので誤りである。

(v) 70℃に保温すると酵素の立体構造が変化するため、保温前よりも反応速度は低下する。よって正しい。

問4 抗原と抗体を対象にしているが、これも酵素と基質の反応と同様、立体構造が合えば結合する。この問題は、ミカエリス・メンテン式の応用であるが、問題に与えられた条件通りに計算すれば、とくにミカエリス・メンテン式の知識がなくても解ける(知識がある方が考えやすいが)。

(1) 抗原(antigen)濃度を、 $[Ag]$ と表すことにする。問題文に従って式をつくると、次のようになる。

$$W = \frac{[Ag]}{[Ag] + Z} \quad \dots\dots \text{式1}$$

抗原濃度は g なので、式の $[Ag]$ に g を代入すると

$$W = \frac{g}{g+Z} = 0.5$$

これを解いて、 $Z=g$

(2) 式 1 を左右の項ともに逆数にしてまとめると、次のように変形できる。

$$\frac{1}{W} = \frac{[Ag]+Z}{[Ag]} = Z \cdot \frac{1}{[Ag]} + 1$$

今、抗原 G1 の濃度を $[G1]$ 、(1)より $Z=g$ を代入すると

$$\frac{1}{W} = g \cdot \frac{1}{[G1]} + 1 \quad \dots\dots \text{式 2}$$

となる。

x 切片は $\frac{1}{W}=0$ のときで、式 2 より

$$0 = g \cdot \frac{1}{[G1]} + 1 \quad \therefore \frac{1}{[G1]} = -\frac{1}{g}$$

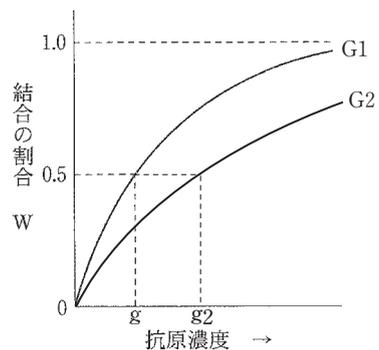
y 切片は $\frac{1}{[G1]}=0$ のときで、式 2 より

$$\frac{1}{W} = g \cdot 0 + 1 \quad \therefore \frac{1}{W} = 1$$

(3) 抗原が G2 のとき、抗原濃度が g のとき W は 0.5 であったので、図 2 のようなグラフをかくと、右のようになる(抗原が G2 のとき、 W が 0.5 となるときの抗原濃度を g_2 としている)。

抗原 G2 についても G1 と同様に式 1 をたてると、 $Z=g_2$ となる。よって、式 2 は

$$\frac{1}{W} = g_2 \cdot \frac{1}{[G2]} + 1 \quad \dots\dots \text{式 3}$$



となる。ここで、式 2 と式 3 よりグラフの傾きは g と g_2 で、大きさの関係は $g < g_2$ である。よって、G1 よりも G2 のグラフの方が、傾きが大きいことになるので、②か④に絞られる。そして、式 3 より y 切片が 1 なので、正解は②である。

ちなみに、酵素反応において競争阻害があるとき、阻害剤なしでは G1 のようなグラフ、阻害剤ありでは G2 のようなグラフになる。

5章 代謝①

問題

■ 演習

【1】

解答

問1 a-同化 b-異化 c-ATP d-独立栄養 e-従属栄養

f, g-アクチン, ミオシン

問2 (1),(2),(3)

問3 コハク酸脱水素酵素の活性部位に X が結合し、基質であるコハク酸と酵素基質複合体になるのを阻害したため。(50字)

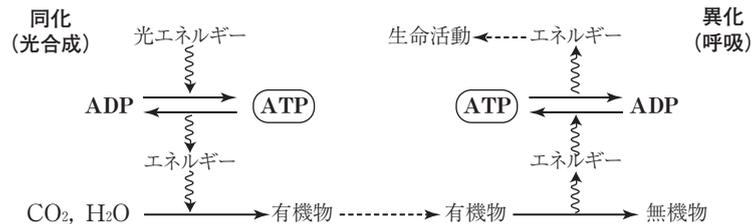
問4 光を吸収するクロロフィル a がとくに吸収する波長が 400nm ~ 500nm と 650nm ~ 700nm であるから。

問5 反応系：電子伝達系

物質：水

解説

問1 a, b：物質代謝は、単純な物質から複雑な物質を合成する同化と、複雑な物質を単純な物質へと分解する異化に大別される。このとき、エネルギーの出入りも起こり、同化ではエネルギーを吸収し、異化ではエネルギーを放出する。



c：ATP はアデノシン三リン酸の略で、生体内でエネルギーを蓄えている物質である。ATP の化学エネルギーを利用して、熱エネルギーや光エネルギーなどいろいろなエネルギーに変換している。

d, e：無機物から有機物を合成し、他の生物を捕食しないでも生育できる生物を、独立栄養生物という。陸上植物や藻類などの他、一部の細菌類が該当する。反対に、他の生物を捕食して生育する生物を、従属栄養生物という。動物や菌類、多くの細菌類が該当する。

問2 (1) 原核生物はすべて単細胞生物であるが、真核生物は単細胞と多細胞の両方がある。

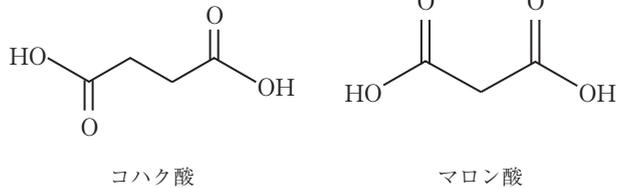
ゾウリムシやミドリムシ、アメーバは真核生物で単細胞である。

(2) シアノバクテリアが光合成を行うことは正しいが、葉緑体はもっていないので誤りである。シアノバクテリアも光合成色素をもつが、葉緑体のような膜でできた細胞小

器官はもっていない。チラコイドは細胞質中にある。

- (3) 酸素を用いた呼吸は、ミトコンドリアをもつ細胞で起こる。赤血球のようにミトコンドリアのない細胞では、酸素を用いない解糖系でATPを合成している。また、筋肉の細胞はミトコンドリアをもつが、解糖という酸素を用いない反応系でもATPを合成している。

問3 競争阻害であることを説明する。コハク酸とその阻害剤であるマロン酸は、構造が似ている。



問4 クロロフィルaは藻類，陸上植物など光合成を行う真核生物がもつ光合成色素である。また，クロロフィルbは緑藻類と陸上植物がもつ。両者とも，400nm～500nm（紫～青）と650nm～700nm（赤）の波長の光をよく吸収する。500nm～600nmあたりの光は吸収せずに反射する。この付近は緑色～黄色なので，葉は緑色に見える。

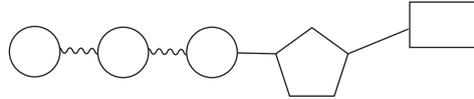
問5 呼吸では，有機物を水と二酸化炭素に分解する。呼吸の過程は何段階も経て行われ，その過程で脱水素酵素によって水素が集められ，電子伝達系へ送られる。この水素と酸素が結合して，水ができる。

【2】

解答

A 問1 (右図)

- 問2 (A) -△ (B) -△
 (C) -× (D) -×
 (E) -○ (F) -×
 (G) -× (H) -○
 (I) -○



問3 電子伝達で発生するエネルギーで H^+ の濃度勾配をつくりATPを合成する。(35字)

B 問4 40%

問5 18%

解説

A

- 問1 ATPはヌクレオチドの一種で、糖(リボース)とリン酸、塩基としてアデニンをもつ。リボースのどの位置の炭素にアデニンとリン酸が結合しているのか、覚えておくこと。リン酸とリン酸の結合には、多くのエネルギーを蓄えることができるので、高エネルギーリン酸結合とよばれる。
- 問2 (A)：ペプシンやカタラーゼなど、ATPのエネルギーを利用しない酵素反応もある。ナトリウムポンプやミオシンなどは、ATP分解酵素としての活性をもつ。
 (B)：ATPのエネルギーを用いる能動輸送と、用いない受動輸送がある。
 (C)：電子伝達系はATPを合成するのであって、消費はしない。
 (D)：抗原と抗体の立体構造によって起こる。
 (E)：アミノ酸からタンパク質を合成する過程は、二次同化である。同化はエネルギーを必要とする。
 (F)：DNAの塩基間は水素結合による。
 (G)：クエン酸回路ではATPは合成されるが、消費はされない。
 (H)：アルコール発酵では、解糖系によってATPを消費する段階と合成する段階の両方がある。
 (I)：筋収縮はATPがないと起こらない。
- 問3 光合成は同化で、呼吸は異化、という点だけでみるとATP合成の共通点はないようにみえる。しかし、光合成は電子伝達系でATPを合成し、そのATPを利用してカルビン・ベンソン回路を進行させている。

B

問4 グルコース 1mol を燃焼させると 686kcal の熱が放出される。また、グルコース 1mol の代謝によって ATP は最大 38 分子合成される。このとき必要なエネルギーは 7.3×38 kcal である。よって、

$$\frac{7.3 \times 38}{686} \times 100 = 40.4 \text{ (\%)}$$

問5 グルコースの燃焼で放出されたエネルギーの 40% は ATP 合成に使われ、ATP に化学エネルギーの形で蓄えられる。骨格筋の収縮では、ATP のエネルギーの 45% が仕事のエネルギーに変換される。よって、

$$0.404 \times 0.45 \times 100 = 18.18 \text{ (\%)}$$

【3】**解答**

問1 (1) 水 (2) 酸素 (3) 二酸化炭素
(4) 酸素 (5) 二酸化炭素

問2 A-(ア), (ウ) B-(イ), (エ) C-(ア), (ウ) D-(ア), (エ)

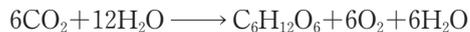
問3 A-(ケ) B-(カ) C-(ウ) D-(キ)

問4 (イ), (エ)

問5 (a)-(ア) (b)-(オ) (c)-(イ)

解説

問1 光エネルギーを吸収しているので、反応系 A と反応系 B は光合成の過程である。光合成全体の反応式は



よって、取り入れる物質は二酸化炭素と水で、まずは水を利用するので(1)水とわかる。その水を分解したことで放出されるのが、(2)酸素である。(3)二酸化炭素は、光合成の後半の過程で用いる。

反応系 C と反応系 D はグルコースから生命活動の流れなので、呼吸の過程である。呼吸の全体の反応式は



反応経路に取り入れているのは酸素と水があるが、グルコースを燃焼させるという意味で捉えると(4)は酸素の方が適している。放出される(5)は二酸化炭素である。ただ、(5)については水でもよいだろう。

問2 光合成の過程は、まずチラコイドで起こる反応(水の分解, ATP 合成, 還元物質の生成)が起こる。したがって、反応系 A では(ア)ATP 合成, (ウ)物質の還元, となる。次にストロマで起こる反応(カルビン・ベンソン回路 = 二酸化炭素の固定)で、反応系 B では(イ)ATP の消費, (エ)還元物質の酸化が起こる。

呼吸の過程は、解糖系・クエン酸回路・電子伝達系という流れになる。反応系 C の解糖系では ATP を合成する (ア)。また、脱水素酵素による反応が起こる(ウ)。ミトコンドリアで起こるクエン酸回路では、ATP の合成(ア)と脱水素酵素による反応が起こる(ウ)。そして、電子伝達系では ATP の合成(ア)と還元物質の酸化が起こる(エ)。このミトコンドリアで起こる反応はどちらも反応系 D と考えられるので、3つ考えられることになる。ただ、問題文にもあるように「エネルギー収支全体として」考えると、(エ)の反応の方が ATP 合成に直接関与するので、(ウ)ではなく(エ)の方が適している。

なお、光合成での物質 X は NADP, 呼吸では NAD と FAD というように、異なる物質である。

問3 反応系 A は葉緑体のチラコイドで、反応系 B は葉緑体のストロマで、反応系 C は細胞質基質で、反応系 D はミトコンドリアの内膜とマトリックスで起こる。

- 問4 (イ)：補酵素は低分子の有機化合物で、タンパク質以外の物質である。
(エ)：酵素はタンパク質なので、一般的に高熱に弱い。一方、補酵素は比較的熱に強い。
- 問5 (a)：光化学系 I での反応は、光のエネルギーを利用して電子の流れをつくる、という意味では電気エネルギーに変換したといえる。
(b)：ルシフェラーゼは ATP を用いてルシフェリンを酸化する。すると、ルシフェリンは発光するので、これは化学エネルギーから光エネルギーへの変換といえる。
(c)：ナトリウムポンプは ATP の化学エネルギーを用いて、ナトリウムイオンとカリウムイオンを輸送している。

添削課題

解答

問1 (右図)

問2 先端や基部：B

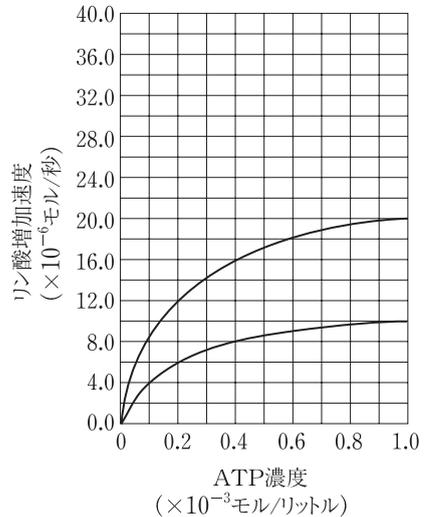
核付近：A

問3 図2のグラフより、CのみではATP濃度に関係なくリン酸は増加していない。しかし、AとBに加えるとそれぞれ単独のときよりリン酸の増加速度が上昇しているので、CはAとBのATP分解を促進させる。

問4 基質であるATPが十分に多いので、すべてのBがATPと結合した状態になるので、それ以上はリン酸増加速度が上がらない。

問5 ATPの分子数：12

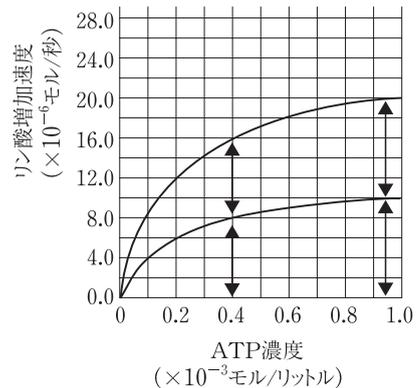
移動距離： 8×10^{-9} m



解説

問1 問題にタンパク質Aに酵素活性があることは、文章として書かれてはいない。しかし、実験2において、ATPとタンパク質Aを混合した反応液中のリン酸量が増加したことから、タンパク質AがATPを分解しATP → ADP+Piの反応が起きたとわかる。よって、タンパク質AはATP分解酵素としての活性があるとわかる。タンパク質Bも同様である。

以上より、タンパク質Aを酵素と考えると、リン酸は反応生成物である。酵素濃度が半分になれば、単位時間あたりの反応生成物量も半分になる。グラフをかくときの注意点としては、いずれのATP濃度(基質濃度)でも、図にもともと示されているグラフの1/2のリン酸増加量になるよう、点をうつことである。



問2 表1より、野生型では小胞は全体に分布しているが、変異型IとIIでは全体には分布しなく特定の部位に蓄積している。タンパク質Aのみある変異型Iでは小胞は核付近に蓄積しているので、核付近へと運ぶモータータンパク質はタンパク質Aとわかる。同様に、タンパク質Bは先端や基部に運ぶモータータンパク質である。

問3 図2をみると、タンパク質A、Bとは異なり、タンパク質C単独ではリン酸が増加していないことがわかる。つまり、タンパク質CにはATP分解酵素活性がない。しかし、タンパク質A、Bともに単独のときよりもタンパク質Cを過剰に与えたときの方が、リン酸増加速度が大きく上昇していくことがわかる。これよりタンパク質Cはタンパク質A、BのATP分解酵素活性を促進するはたらきをもつと考えられる。

問4 酵素濃度に対して、基質濃度が十分高いときについて説明する。

問5 実験2は、タンパク質Bが 2.0×10^{-6} モルのとき、1秒あたり何モルのATPを分解したかを調べたものと捉えられる。反応液1Lでその中にATPが 1.00×10^{-3} モル含まれているとき(図2のグラフで横軸が1.00)、1秒でATPは 24.0×10^{-6} モル分解されたことがわかる。1モルは 6.02×10^{23} 分子なので、タンパク質Bが $2.0 \times 10^{-6} \times 6.02 \times 10^{23}$ 分子では、ATPを $24.0 \times 10^{-6} \times 6.02 \times 10^{23}$ 分子分解したことになる。よって、タンパク質B1分子では、

$$\frac{24.0 \times 10^{-6} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 分子}}{2.0 \times 10^{-6} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 分子}} = 12 \text{ 分子}$$

1秒で12分子のATPを分解している。

図3より、タンパク質B1分子では0.5秒で6ステップ進むことがわかる。タンパク質B1分子では1秒間に12分子のATPを分解しているので、0.5秒では6分子のATPを分解している。これより、6分子のATPで6ステップ進む、つまり1分子のATPで1ステップ進むことがわかる。6ステップでおよそ 48×10^{-9} m変位したので、1ステップでは 8×10^{-9} m変位したことになる。

6章 代謝②

問題

■ 演習

【1】

解答

- 問1 (1) A-b B-a C-d D-c
(2) ①-a ②-a ③-c ④-a
- 問2 (1) a-カロテン b-クロロフィル a c-クロロフィル b
(2) いろいろな波長の光を吸収して光合成に利用できるため、生育できる環境も多くなる。
(39字)
- 問3 (1) 葉緑体の部分に白色光が照射されると、光合成によって酸素が発生する。(33字)
(2) 緑色光よりも赤色光の方がより吸収され、光合成で利用される。(29字)

解説

- 問1 (1) クロロフィルを含む小胞をチラコイドといい、チラコイドが重なってグラナを形成している。葉緑体の外側は二重膜であり、基質部分のストロマを囲んでいる。
(2) ①: ATPの合成は、チラコイドの膜に埋まっている電子伝達系のタンパク質が H^+ の濃度勾配をつくることで、ATP合成酵素によって行われる。
②: 水の分解は光化学系Ⅱで行われる。光化学系と電子伝達系、ATP合成酵素は同じチラコイド膜にある。
③: カルビン・ベンソン回路は、反応を触媒する酵素がストロマ中にある。
④: 光合成色素はチラコイド膜にある。
- 問2 (1) ペーパークロマトグラフィーの結果については、原点からの色素の並ぶ順番と、各色素の色は覚えておくべきことである。クロマトグラフィーの原理より、色素は展開溶媒との親和性が高いものほど、溶媒前線に近いところまで移動する。一般に、カロテノイド系の色素は親油性であるので、上側にあることが多い。
(上) カロテン→キサントフィル→クロロフィル a→クロロフィル b (下)
- (2) 光は波長によって、それぞれ性質が異なる。可視光(ヒトの目で受容できる波長の光)だけでなく、もっと長い波長の光も太陽光には含まれているが、特定の波長は大気中の二酸化炭素や水蒸気に吸収されるため、すべての波長の光が地上に届くわけではない。
また、可視光は地上まで比較的良好に届くが、それでも水中や周囲の樹木などの影響で、すべての波長の光が同じように届くわけではない。よって、いろいろな波長の光を吸収できる方が、いろいろな環境に適応できると考えられる。

- 問3 (1) この実験結果のみからで答えるのであれば、「葉緑体のあるところは白色光が当たると酸素が発生する」となる。しかし、「結論を述べよ」とあるので、ある程度は知識に基づいた内容を答えた方がよい。葉緑体で光合成が行われることは明白なので、その内容をからめた解答にする。
- (2) 今度は赤色光、緑色光の両方とも葉緑体に光を当てている。よって、光の波長の違いによる光合成での利用度の違いを述べる。

【2】

解答

問1 アー光化学 イー水 ウー酸素 エー電子伝達 オー還元
 カーチラコイド キーATP クーストロマ ケー5 コー3
 サーカルビン・ベンソン

問2 ①, ③, ④

問3 (i) 光を遮断したので反応 A～C は停止する。そのため $X \cdot 2[H]$ や ATP が合成されなくなり, PGA から続く反応が起こらなくなる。よって, PGA が蓄積して増加する。
 (ii) (a)

問4 光合成速度は, 光強度, 二酸化炭素濃度, 温度の影響を受ける。この条件下では, いずれの条件も十分に満たされているので, 光合成速度の上限に達したと考えられる。

解説

問1 光合成の反応は, 以下の5段階からなる。

光化学系	①	光エネルギーの吸収	光化学系 I, 光化学系 II のクロロフィル a が光エネルギーを吸収して活性化し, 電子(e^-)を放出する。
	②	水の分解	光化学系 II で放出された e^- を埋めるため, 水が分解されて酸素(O_2)と水素イオン(H^+)が生じる。
	③	NADPH の合成	光化学系 I のクロロフィル a が放出した e^- と, 葉緑体内の H^+ が NADP と結合して NADPH($+H^+$)が生じる。
電子伝達系	④	ATP 合成	光化学系 II から放出された e^- は, いくつかのタンパク質に受け渡されながら光化学系 I に向かって移動する。この過程で放出されるエネルギーを用いて ATP が合成される。
⑤	カルビン・ベンソン回路		ATP と NADPH($+H^+$)を用いて二酸化炭素を固定し, 有機物が合成される。

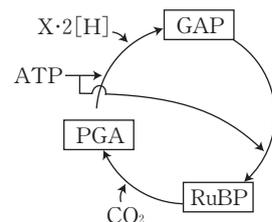
問題では, 反応 B に上記の②と③を1つにまとめてある。

問2 ①, ②: 光エネルギーを吸収してクロロフィルが活性化するのは, 光の影響のみである。この反応には温度は関係しない。

③: 緑色光をあまり吸収しないので, クロロフィルは緑色光を反射する。よって, ヒトの目には緑色光が入ってくるので, クロロフィルは緑色に見える。

④: アントシアニンは葉や花の色などの色素であるが, 光合成にはかかわっていない。

問3 (i) カルビン・ベンソン回路を簡単に示す。RuBP から PGA の反応には, 光化学系の反応によってできる ATP や還元物質は必要ない。よって, RuBP → PGA までの反応は進行する。しかし, PGA から GAP への反応には ATP と還元物質が必要である。この反応が進まないため, PGA が蓄積する。



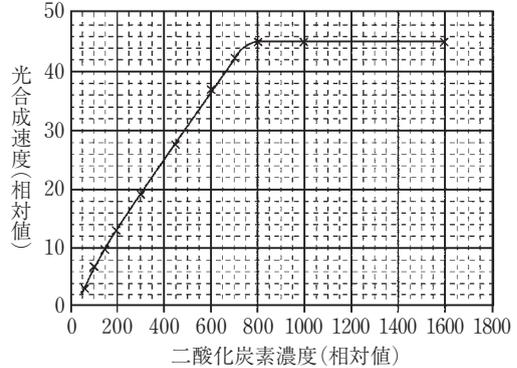
(ii) : 大気中の二酸化炭素濃度は 0.03 ~ 0.04% ほどである。この状況でも、多くの植物にとって二酸化炭素濃度は不足気味である。それを、さらに 0.003% まで下げると、二酸化炭素の取り込みは低下し、RuBP → PGA の反応が進まなくなる。よって、PGA は減少し、RuBP は増加する。PGA が減少するのだから、もちろん GAP も減少してくる。よって、時間が経過すると GAP → RuBP の反応も起こらなくなるので、RuBP も減少してくる。

問 4 光合成の限定要因となるのは、光強度、二酸化炭素濃度、温度である。この条件下では、光は十分とある。また、温度についても 30℃ は十分と考えてもよい(温度が原因となって光合成速度に影響を与えるほど低すぎるとは考えにくい)。二酸化炭素濃度が十分に高くなったため、光合成速度はそれ以上速くなることはなくなり、一定になった。

【3】

解答

- A 問1 ① - 光補償点 ② - 光飽和点
 ③ - 呼吸速度
 問2 (右図)
 問3 400
 B 問4 3.8%
 問5 (2), (3)
 問6 5分子



解説

- A
 問1 ①：見かけの光合成速度 = 呼吸速度となる光の強さを，光補償点という。
 ②：それ以上光を強くしても，光合成速度が上昇しない光の強さを，光飽和点という。
 光補償点，光飽和点ともに光の強さなので，単位はルクスなどである。
 ③：光強度が0のときには，呼吸は行っているが光合成は行っていない。よって，光強度0のときの二酸化炭素吸収速度 = 呼吸速度である。
- 問2 二酸化炭素濃度の変化に対する光合成速度の変化のグラフをかくので，横軸に二酸化炭素濃度，縦軸に光合成速度をとる。あとは，図2の右側にある二酸化炭素濃度と，光強度2000の目盛りを読み取り，×をつけて直線をつないでいく。
- 問3 図2は光強度2000のときのグラフである。図1より光強度2000のときの光合成速度は25とわかる。問2でかいたグラフで光合成速度が25のときの，二酸化炭素濃度は400である。
- B
 問4 問題文に「可視領域の光は地表に届く太陽エネルギーの45%」とある。地表に届く太陽エネルギーは $8.0 \times 10^3 \text{kJ/m}^2 \cdot \text{日}$ なので，可視領域の放射は

$$8.0 \times 10^3 \times 0.45 = 3.6 \times 10^3 \text{ (kJ/m}^2 \cdot \text{日)}$$
 となる。純生産量は $3.0 \text{kg/m}^2 \cdot \text{年}$ と与えられているが，太陽エネルギーは $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{日}$ となっており，1年あたりではない。まず，この単位をそろえる必要がある。すると，純生産量は

$$3.0 \times 10^3 \div 365 \approx 8.21 \text{ (g/m}^2 \cdot \text{日)}$$

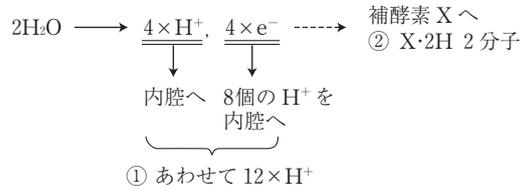
$$1.0 \text{g}$$
 の有機物を合成するのに 16.8kJ のエネルギーが必要なので， 8.21g の有機物を合成するには， $8.21 \times 16.8 = 137.928 \text{kJ}$ のエネルギーを利用したことになる。よって，

$$\frac{137.928}{3.6 \times 10^3} \times 100 \approx 3.83 (\%)$$
- 問5 (2)：水素イオンの濃度勾配があり，その勾配をなくす方向に水素イオンが移動するために ATP が合成される。よって，水素イオンの濃度勾配を解消する物質でチラコイド膜を処理すれば，ATP は合成されない。

(3)：チラコイド膜の外側と内側で、水素イオンの濃度勾配があることが重要である。

膜が破れていては、濃度勾配ができないのでATPは合成されない。

問6 問題文の読み取りが少し難しい。図にまとめると、下のようになる。



{ 3個の水素イオンで1分子のATPを生産→① 12個の水素イオンなので ATP 4分子
X · 2H 1分子は3分子のATPに相当→② X · 2H 2分子なので ATP 6分子

→下線部を足して、10分子のATPができる。

ただし、これは水2分子のときなので、1分子では5分子のATPとなる。

添削課題

解答

問1 アーチラコイド イー水 ウー酸素

エー化学 オーストロマ

問2 (1) カー光の強さ キー光化学

ク、ケー温度, CO₂ 濃度

コー炭素固定

(2) (右図)

理由：光の強さが0.1のとき**限定要因**は

光の強さのため、光合成速度は温度

の影響を受けずに0.1で一定である。光の強さが1.0のとき**限定要因**は温度の

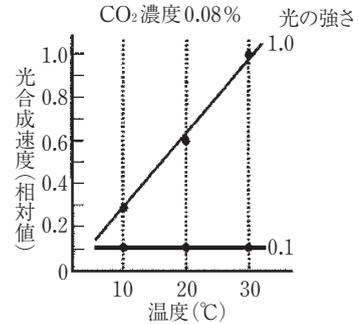
ため、光合成速度は温度が高くなるにつれて増加する。(94字)

(3) ①の部屋が30℃, ②の部屋が10℃ : d

①の部屋が10℃, ②の部屋が30℃ : a

①と②の部屋がともに10℃ : d

問3 a, e



解説

問1 葉緑体のチラコイド膜で起こる反応は、①水の分解と酸素の放出、②ATPの合成、③還元物質NADPHの合成で、ストロマではカルビン・ベンソン回路でCO₂を固定し、有機物を合成する。これらの反応が進むにはエネルギーが必要で、そのために光エネルギーを吸収して化学エネルギーに変換している。

問2 (1) 限定要因とは、反応を進めるのに最も足りない条件である。光の強さ0.1のときは、CO₂濃度が0.04でも0.08でも光合成速度0.1と変化しない。また、温度が10℃と30℃でも光合成速度0.1である。よって、足りない条件は光の強さとなる。光合成は、まず光が当たってクロロフィルが活性化する光化学反応から始まるので、光が弱いときは光が**限定要因**である。そして、光の強さ1.0では、CO₂濃度・温度ともに大きくなるほど光合成速度が大きくなっている。これは、炭素固定反応の反応速度が、CO₂濃度と温度に依存するからである。

(2) 光の強さ1.0のときの数値は右のグラフからわかる。0.1のときの数値は、真ん中のグラフからCO₂濃度が0.04%でも0.08%でも光合成速度が変わらないことがわかるので、左のグラフの数値を使えばよい。設問文には「予想」とあるが、実際にはグラフから読み取れる。理由としては「グラフから読んで～」と書くのではなく、グラフの形状がなぜそうなるのかの説明を書く。

(3) 光合成の反応で必要なのは、光→CO₂・温度の順番である。よって「①の部屋が30℃, ②の部屋が10℃」のときは、②で温度が低いので光合成速度は小さい。しかし、①で還元物質とATPは合成されているので、それが消費されるのに時間がかかるため、bではなくdとなる。「①と②の部屋がともに10℃」も同様である。「①

の部屋が 10℃，②の部屋が 30℃」は①は温度の影響を受けないので，ともに 30℃と同様の結果 a となる。

- 問 3 b: C_4 植物は CO_2 固定のための回路を，カルビン・ベンソン回路とは別にもっている。しかし，光の受容に対しては C_3 植物と大きな違いはない。この文章は，陽生植物と陰生植物を比較した場合に，陰生植物の方が弱い光の下でも生育できることの説明である。
- c: C_4 植物は CO_2 濃度が高くなると急に光合成速度が増加するというのではなく，光飽和になりにくいだけで，光合成速度の増加はある程度緩やかになる。
- d: これは，CAM 植物についての特徴である。

