

2016 年度 東北大学 前期 生物

1 食物の消化と吸収・肝機能

出題範囲	消化系, ホルモン, 酵素, 排出系, 体液
難易度	★★★★☆
所要時間	18分
傾向と対策	語句問題で出題されたのは, 教科書に必ず載っている基本用語や知識がほとんどであったが, 問(6)オのような教科書では見かけない語句も出題されていた。記述問題は, グラフや問題文をよく読めば解答できる問題であった。ただし, 問(7)については問題文をよく読むことに加え, 浸透圧に関する基本知識が必要であり, 完答するためには毛細血管から組織への体液の移動に血圧がかかわっていることを理解している必要があった。すばやく語句問題を解答し, 考察, 記述問題に時間をかけた大問であった。

解答

問(1) ア: ペプシン イ: セクレチン ウ: トリプシン エ: 肝門脈

問(2) 胃を強酸性に保ち, 侵入してきた病原菌を排除する。(24 字)

問(3) ホルモン

問(4) セクレチンの分泌により重炭酸塩に富むアルカリ性のすい液が分泌され, 強酸性の胃液を中和, pH8 まで上昇させることで腸内をトリプシンの最適 pH に調整する。(75 字)

問(5) ①

問(6) オ: アルブミン カ: アンモニア キ: 尿素 ク: 腎臓

問(7) アルブミン濃度の低下により血しょうの浸透圧が低下し, 組織から毛細血管への水の移動が減少する。一方, 血圧は変化しないので, 毛細血管から組織へは水が移動し, 結果的に組織液の量が増加する。(91 字)

解説

問(1) 難易度: ★★★★★

アにはペプシンが入る。ペプシンは pH2 程度の強酸性下ではたらく消化酵素で, ペプシンの前駆体であるペプシノーゲンは胃腺から分泌される。ペプシノーゲンは胃内部で強酸環境にさらされると立体構造が変化, 一部が切断されてペプシンとなる。活性化されたペプシンは中性, アルカリ性条件下では失活する。ペプシンはタンパク質をポリペプチドまで分解する。

イにはセクレチンが入る。セクレチンはスターリングらの実験により 1902 年に初めて発見されたホルモンで, 十二指腸で分泌され, すい液の分泌を促進するはたらきがある。

ウにはトリプシンが入る。トリプシンはすい液に含まれる消化酵素で, アミノ酸のペプチド結合を加水分解

解により切断する。トリプシンは前述のペプシンとは異なり、pH8 程度のアルカリ環境を最適 pH とする。

エには肝門脈が入る。肝門脈は小腸から肝臓へ血液を運ぶ血管で、小腸で吸収した物質が集約されるため栄養を多く含んでいる。血管の名称を聞かれることは多くはないが、栄養を多く含む肝門脈、尿素濃度が高い肝静脈あたりは聞かれることがあるので覚えておこう。

以上より、解答は、**ア：ペプシン、イ：セクレチン、ウ：トリプシン、エ：肝門脈**。イのセクレチンに関しては教科書には載っているものの、ホルモンの問題としてはインスリンやチロキシンなどが出題されることが多いため、多少戸惑った人もいるかもしれない。典型問題の題材でない物質・語句は突然出題されると思いつく焦るかもしれないが、単発の穴埋めであることも多いので、ペースを乱さず次の問題に行くことも重要だろう。

問(2) 難易度：★★★★☆

胃液の主成分である塩酸は胃の壁細胞から分泌される。胃内部は胃液に含まれる塩酸により pH2 程度の強酸性に保たれている。強酸性環境下では食物などに交じって病原菌が侵入してきても、ほとんどの病原菌は生存することができない。このように、胃酸は生体防御にも大きく貢献している。なお、ピロリ菌のように塩酸を中和することで胃の内部で生活することが可能な細菌も存在する。また、通常胃内部は粘液によっておおわれており、強酸性の胃液から胃の細胞を保護している。ストレスなどが原因で胃液の分泌を司る副交感神経のバランスが崩れたり、ピロリ菌に感染したりすることによって、胃液や消化酵素のコントロールが効かず胃壁を消化してしまうことがある。このように胃の上皮組織が壊れた状態が胃潰瘍である。

したがって、解答は次のようになる。

解答例

胃を強酸性に保ち、侵入してきた病原菌を排除する。(24 字)

問(3) 難易度：★★★★☆

単純な語句問題。解答は**ホルモン**である。ホルモンの定義は覚えておこう。

ホルモンとは、ある細胞から分泌され、血液などの体液を介して**標的器官**の細胞に作用する小分子の総称で、ごく低濃度で効果を発揮する。ホルモンの分泌形態は**内分泌**とよばれ、おもに血液中など体内に分泌するため、分泌物を体外へ出すための排出管をもたない。

ホルモンはその化学的な性質によって3つに分類される。1つ目はポリペプチドからなるペプチドホルモンである。ペプチドホルモンは親水性であり、細胞膜を通過できない。そのため、受容体は細胞膜上に存在し、細胞内のほかの情報伝達物質（セカンドメッセンジャー）によってシグナルを伝達する。2つ目はステロイド骨格という共通の構造をもつステロイドホルモンである。ステロイドホルモンは脂溶性であり、細胞膜を通過できる。そのため、細胞内の受容体に直接結合し、遺伝子の発現調節などにかかわる。これら以外にアミンホルモンというホルモンも存在し、アドレナリンやチロキシンなどがこれにあたる。アドレナリンは親水性のため細胞膜上の受容体に結合するのに対し、チロキシンは脂溶性のため細胞内の受容体に結合する。

ホルモンの種類とそのはたらきを Check!!で確認しておこう。

◆Check!!

ホルモン

次の表で、種々のホルモンがどこから分泌され、どのようなはたらきをするのか確認しておこう。

表 A 各種ホルモンとその役割

内分泌腺		ホルモン	機能
視床下部		各種放出ホルモン 各種放出抑制ホルモン	・脳下垂体前葉のホルモン分泌を調節
脳下垂体	前葉	成長ホルモン	・成長促進 ・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇
		甲状腺刺激ホルモン	・甲状腺からのホルモン分泌促進
		副腎皮質刺激ホルモン	・副腎皮質からのホルモン分泌促進
	後葉	バソプレシン (抗利尿ホルモン)	・腎臓の集合管での水の再吸収促進 ・血圧上昇
オキシトシン		・子宮平滑筋の収縮 ・乳汁の分泌促進	
甲状腺		チロキシン*	・代謝（特に呼吸などの異化作用）の促進
副甲状腺		パルトルモン (副甲状腺ホルモン)	・血中カルシウムイオン濃度の上昇
副腎	皮質	糖質コルチコイド*	・タンパク質からの糖生成を促進→血糖濃度の上昇
		鉱質コルチコイド*	・腎臓でのナトリウムイオンの再吸収とカリウムイオンの排出促進
	髄質	アドレナリン	・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇 ・心拍数や血圧の上昇
すい臓のランゲルハンス島	A細胞	グルカゴン	・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇
	B細胞	インスリン	・組織でのグルコースの取り込みと消費，肝臓でのグリコーゲンの合成促進→血糖濃度の低下

ペプチドホルモン ステロイドホルモン アミンホルモン

*脂溶性 (*が付していないものは水溶性)

問(4) 難易度：★★★★☆

まず、図 1 でタンパク質分解酵素 **ア** (=ペプシン) とタンパク質分解酵素 **ウ** (=トリプシン) の酵素反応速度のピーク、つまり酵素の最適 pH が示されていることを読み取れなくてはならない。ここから、ペプシンの最適 pH は 2、トリプシンの最適 pH は 8 であるとわかる。また、下線部(a)の次の文を読むと、胃を通過した内容物は酸性であることがわかる。このままではトリプシンは失活してしまう。ここで、下線部(c)に着目すると、「**イ** (=セクレチン) により重炭酸塩に富むすい液が分泌され、」とある。重炭酸イオンが塩基性であることさえわかれば、このイオンのはたらきによって酸性の内容物が中和され、pH8 程度に調整されることは容易に想像がつくだろう。したがって、解答は次のようになる。

解答例

セクレチンの分泌により重炭酸塩に富むアルカリ性のすい液が分泌され、強酸性の胃液を中和、pH8 まで上昇させることで腸内をトリプシンの最適 pH に調整する。(75 字)

解答の際には中和、最適 pH、といったキーワードは積極的に使っていききたい。解答のためのヒントは随所に散らばっている。あとはそれらをうまくまとめられるようにしよう。

問(5) 難易度：★★★★☆

設問では酸分泌抑制薬の服用の有無などの条件が述べられているが、今回解答するのは酸分泌抑制薬を飲んでいない場合、つまり通常状態について考えればよい。まず、図 2 を見てみると、食事摂食直後から 10 分ほどの間に急激に pH が低下していることがわかる。次に、図 3 を見ると、①は食事摂食後から上昇傾向、②は変化なし、③は低下傾向にあることがわかる。問題文の「胃で消化を受けた～血管内に放出され」という記述から、セクレチンは胃から送られてきた酸性内容物が十二指腸内に入ることが刺激となって血液中に分泌される。つまり、食後の血中濃度は上昇するはずである。

よって、解答は①である。

今回の問題の酸分泌抑制薬の有無のように、解答には直接かかわらない条件も設問で示されることがある。うまく情報を取捨選択して解答しよう。

問(6) 難易度：★★★★☆

オ にはアルブミンが入る。アルブミンは肝臓で合成されるタンパク質の 1 つで、血中に含まれるタンパク質の中で最も量が多い。

カ にはアンモニア、**キ** には尿素が入る。アミノ酸を分解することで発生するアンモニアは生体に有害であるため、ヒトでは肝臓のオルニチン回路という反応経路で毒性の少ない尿素に変換する(図 A)。アンモニアは水に溶けやすいため、周辺に大量の水が存在している環境に住む魚類や両生類の幼生はアンモニアをそのまま排出する。一方、鳥類や虫類では尿酸に変換して排出している。尿酸は水に不溶で結晶化しやすいため排

出時に水をほとんど必要としないことから、乾燥した環境での生存や空を飛ぶための体の軽量化に役立っている。ただし、ヒトは結晶化した尿酸を分解する酵素をもたないため、尿酸の血中濃度が上昇すると結晶が沈殿し、関節などが激しく痛む。これが痛風である。

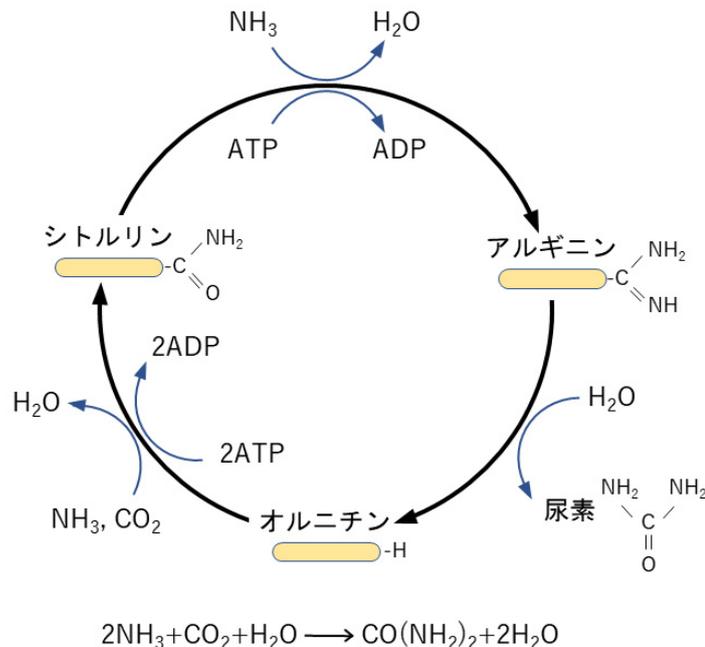


図 A オルニチン回路

クには腎臓が入る。腎臓は握りこぶしほどの大きさの臓器で、背中側左右に1つずつある。腎臓は、腎小体と細尿管（腎細管）からなるネフロン（腎単位）を機能単位とする臓器で、血液のろ過と再吸収を行う。血液のろ過は腎小体で行われ、毛細血管が球状になった糸球体からポーマンのうへ水、尿素、グルコース、無機塩類などがろ過され原尿となる。原尿が細尿管を流れる間に、水、グルコース、無機塩類などの成分は毛細血管に再吸収される。原尿量は成人で1日に180リットルほどで、これは一般的な風呂の容量と同程度である。原尿の水分のほとんどは再吸収されて尿素などの物質が濃縮され、実際に尿として排出されるのは成人で1~2リットルほどである。

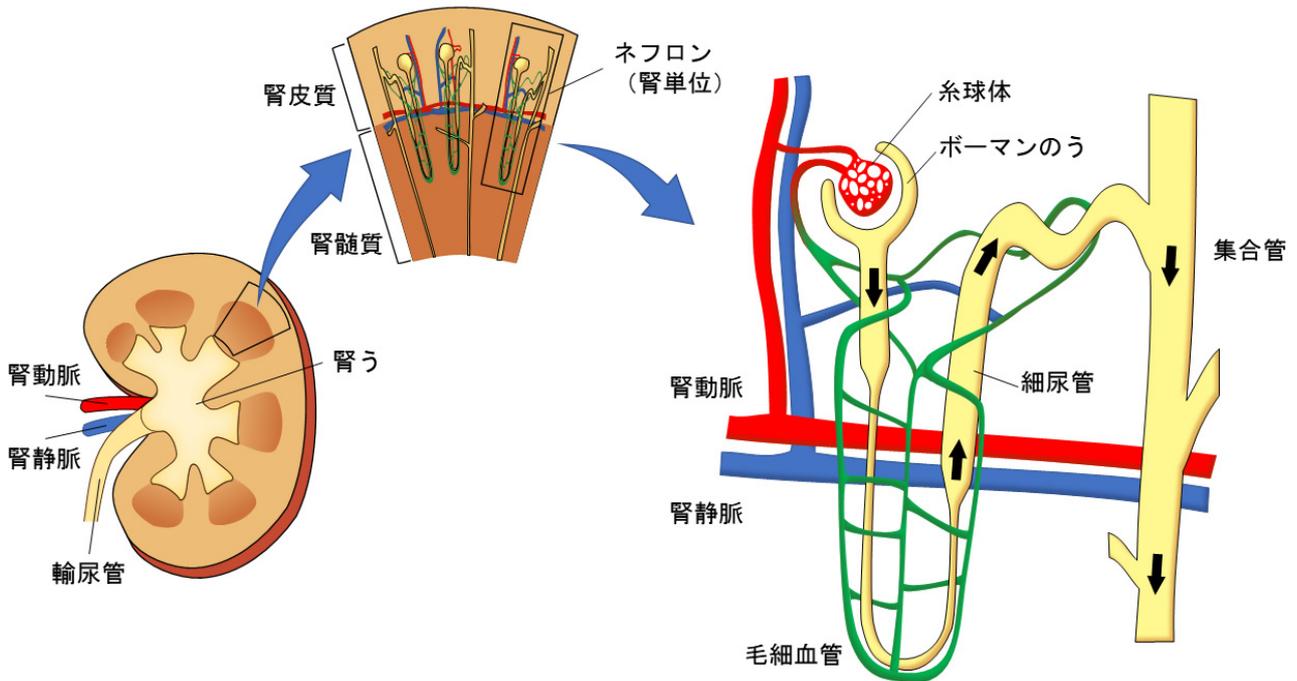


図 B 腎臓の構造

よって、解答は、オ：アルブミン，カ：アンモニア，キ：尿素，ク：腎臓になる。

アルブミンは資料集にも名前がわずかに登場している程度だったので、これを答えられた人は少なかったかもしれない。教科書や資料集を隅々まで覚えて入試に臨むのが理想だが、実際にそれを実行するのは難しい。また、特に難関大学では今回のアルブミンのように資料集の隅にしか（一部の資料集では載っていない）語句も出題されることがあるので、まったく見当がつかない場合は次に進もう。点差がつくのはほとんどの人が答えられない語句問題ではなく、ある程度解ける考察問題である。一方、アンモニア、尿素、腎臓は基本的な知識問題であるので、必ず正答したい。

問(7) 難易度：★★★★★

体液は、血管内を流れる血液、細胞の周りを満たす組織液、リンパ管内を流れるリンパ液からなる。組織液は、血しょうの一部が毛細血管から染み出たもので細胞間を移動したのちに大部分は毛細血管に戻り、一部はリンパ管に入ってリンパ液となる。毛細血管は一層の内皮細胞で構成されており、細胞の小孔を通じて体液が移動する。設問文中にもあるとおり、アルブミンをはじめとしたタンパク質は血管外へ透過しにくいいため血しょうと組織液で濃度勾配が発生する。この濃度勾配によって、血しょうの浸透圧が組織液の浸透圧よりも高くなり、組織から血管内へ水が移動する。

肝臓でのアルブミン合成量が減少すると、血液中の溶質濃度が減少するため血しょうの浸透圧が低下し、組織から血管中への液体の移動が減少する。一方、毛細血管内から組織への水の移動は血圧によって引き起こされるため、アルブミン濃度は影響しない。したがって、血管から組織への水の移動が組織から血管への水の移動より

も多くなる。これによって組織液の量が増加する。ちなみに、組織液の量が増加すると血管内脱水や全身性浮腫（むくみ）などの症状が現れる。

解答は以下のとおり。

解答例

アルブミン濃度の低下により血しょうの浸透圧が低下し、組織から毛細血管への水の移動が減少する。一方、血圧は変化しないので、毛細血管から組織へは水が移動し、結果的に組織液の量が増加する。(91字)

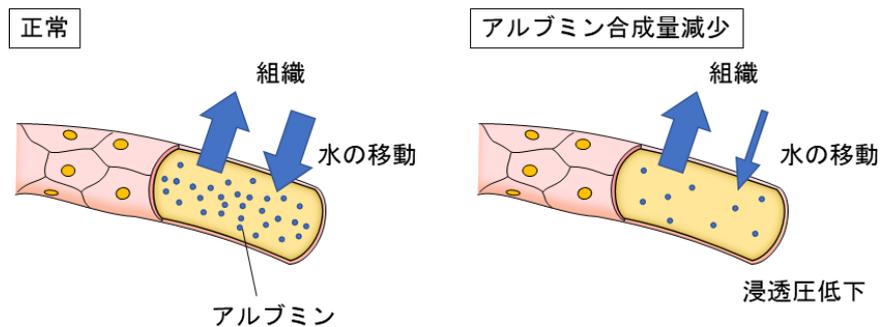


図 C 毛細血管と組織間の水の移動

(後藤暁彦, 熊井勇介, 西川尚吾)

2016 年度 東北大学 前期 生物

2 ラクトースオペロン・遺伝子の発現調節

出題範囲	遺伝子発現
難易度	★★★★☆
所要時間	19分
傾向と対策	<p>遺伝子に関する問題である。全体を通して基礎的な問題がほとんどで、教科書レベルのことをしっかりおさえる勉強をしていれば満点に近い高得点が狙えるはずである。問(4)の記述問題でも、教科書の内容をきっちり理解していればほぼそのまま答案に書くことができ、難易度はそれほど高くない。問(5)(6)も図の問題だが、そこまで複雑ではなくわかってしまえばすんなり解けるのではないだろうか。逆に、こういう問題ができていないということは基礎的な知識が不足していることは否めないで、しっかりと基礎固めをするべきである。</p>

解答

問(1) ア：ゲノム イ：ヒストン ウ：ヌクレオソーム エ：クロマチン オ：染色体 カ：エキソン
キ：イントロン ク：セントラルドグマ

問(2) オペロン

問(3) A：③ B：② C：⑦

問(4) (i)調節タンパク質がオペレーターに結合し、RNAポリメラーゼがプロモーターに結合することを阻害するので、ラクトースの分解にかかわる遺伝子群は転写されず発現しない。(79字)

(ii)ラクトース代謝産物が調節タンパク質に結合することでオペレーターに結合できなくなる。その結果RNAポリメラーゼがプロモーターに結合し、遺伝子が発現する。(75字)

問(5) A：① B：③ C：② D：① E：③

問(6) ④

解説

問(1) 難易度：★★★★☆

DNAに関する文章の空所補充問題である。

ある生物がもつ生存に必要なすべての遺伝情報のことを **ア**：ゲノムとよぶ。

DNAは **イ**：ヒストンに巻き付いている。ヒストンにDNAが巻き付いた構造のことを **ウ**：ヌクレオソームとよぶ。**エ**：クロマチンとは、ヌクレオソームのような、タンパク質とDNAの複合体のことを指す。

細胞分裂の分裂期(M期)の中期ではクロマチンは **オ**：染色体として観察できる。

真核生物では、転写のあとにmRNA前駆体の一部を取り除き必要な部分をつなぎあわせてmRNAをつくるス

プライシングを行う。その時に取り除かれずに mRNA を構成する部分が **カ** : **エキソン**, 取り除かれる部分が **キ** : **イントロン**である。

DNA→RNA→タンパク質という一連の転写・翻訳の流れのことを **ク** : **セントラルドグマ**とよぶ。

したがって、解答は、**ア** : **ゲノム**, **イ** : **ヒストン**, **ウ** : **ヌクレオソーム**, **エ** : **クロマチン**, **オ** : **染色体**, **カ** : **エキソン**, **キ** : **イントロン**, **ク** : **セントラルドグマ**。

いずれも基本中の基本といえる問題なので間違えないようにしたい。

◆Check!!

クロマチン構造・選択的スプライシング

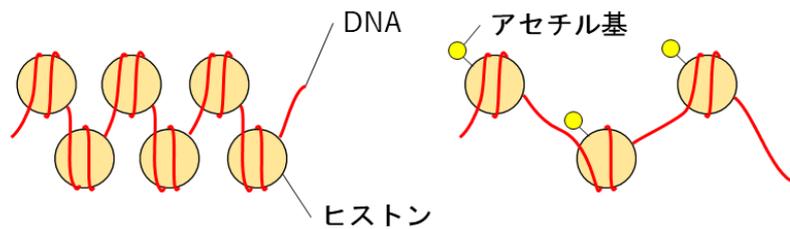


図 A クロマチン構造

ヒストンはアセチル化されることで巻き付きが緩み (図 A 右), RNA ポリメラーゼが結合できるようになる。

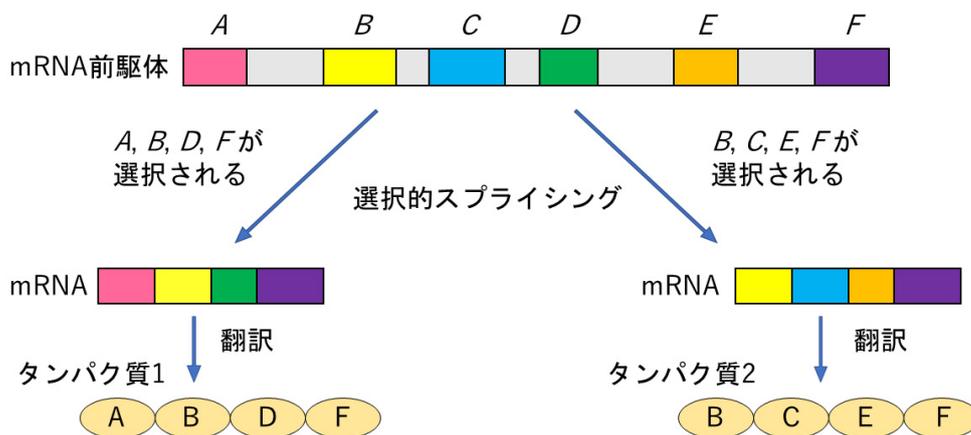


図 B 選択的スプライシング

スプライシングは真核生物で行われるが、多くの生物が選択的スプライシングを行う。選択的スプライシングでは 1 種類の mRNA 前駆体から、イントロンの位置が異なるスプライシングを経て 2 種類以上の mRNA ができる。

問(2) 難易度：★★★★☆

原核生物において、隣接している遺伝子で同時に発現する遺伝子群のことを、それらを調節する領域とあわせて **ケ**：オペロンとよぶ。オペロンは原核生物では顕著にみられるが、真核生物ではほとんどみられない。真核生物においては、複数の遺伝子が同じ転写因子によって同時に発現調節されている。オペロンの例としては問(4)で取り上げられているラクトースオペロン (lac オペロン) のほかにトリプトファンオペロン (trp オペロン) などがある。

よって、解答はオペロンである。

問(3) 難易度：★★★★☆

オペロンに関する問題である。図に合うものを選んでいけばよい。まず、必ず転写・翻訳される A の領域は③調節遺伝子とよばれる。調節遺伝子の産物である C は⑦調節タンパク質である。この調節タンパク質はプロモーターの上流にある領域 B に結合している。よって領域 B は②オペレーターである。オペレーターに結合して遺伝子の発現を抑制する調節タンパク質のことをリプレッサーとよぶ。

よって、解答は、A：③、B：②、C：⑦である。

簡単な知識問題なのでしっかりおさえておこう。

問(4) 難易度：★★★★☆

オペロンによる調節の問題である。ラクトースオペロンは環境中のラクトースの有無によって振る舞いが変わる。まず、調節遺伝子からは調節タンパク質 (リプレッサー) が産物として合成される。このリプレッサーはラクトース非存在下ではオペレーターに結合できる。リプレッサーがオペレーターに結合すると、RNA ポリメラーゼがプロモーターに結合できなくなる。結果として、構造遺伝子の転写が阻害され、遺伝子発現は抑制される。一方、ラクトース存在下では合成されたリプレッサーにラクトース代謝産物 (アロラクトース) が結合し、リプレッサーは不活化される。不活化されたリプレッサーはオペレーターに結合できなくなり、その結果 RNA ポリメラーゼのプロモーターへの結合が阻害されず、構造遺伝子が発現する。

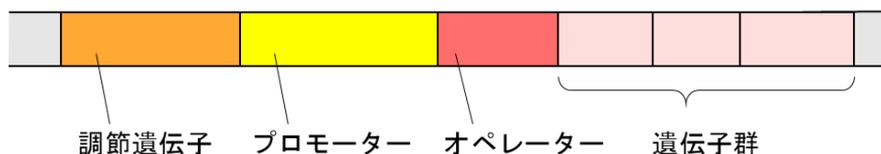


図 C ラクトースオペロンの構成

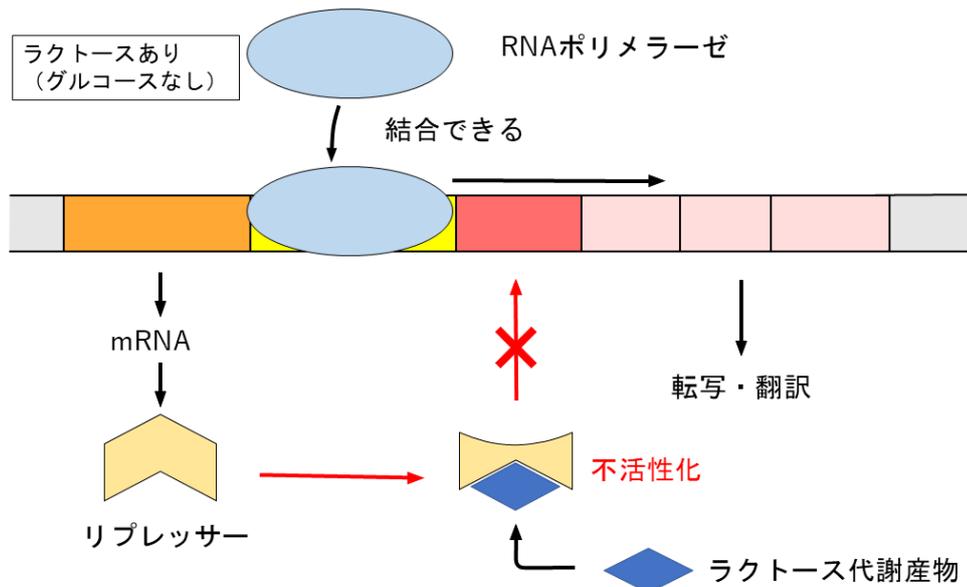


図 D ラクトース非存在時のラクトースオペロン

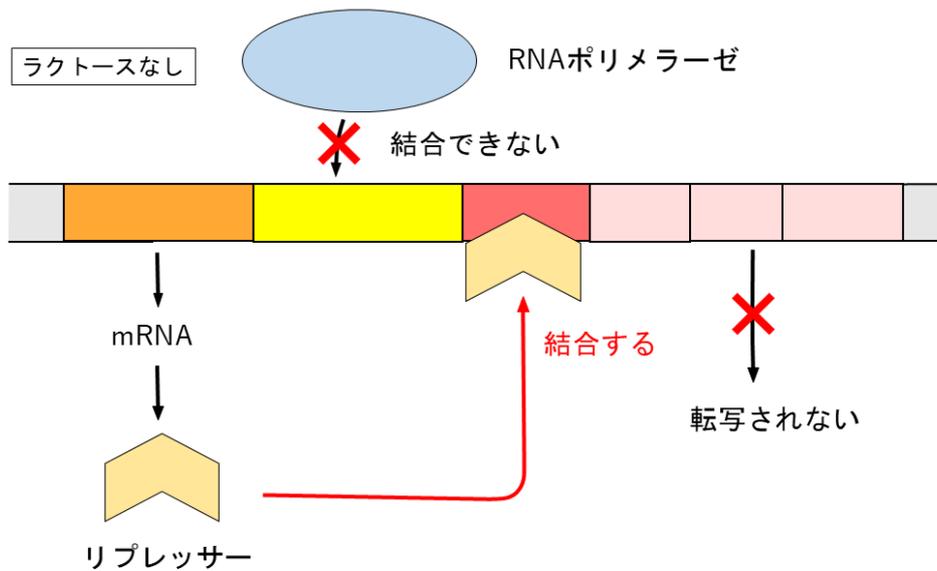


図 E ラクトース存在時のラクトースオペロン

解答では以上の点をまとめれば十分であろう。よって、解答は次のとおり。

解答例

- (i) 調節タンパク質がオペレーターに結合し、RNAポリメラーゼがプロモーターに結合することを阻害するので、ラクトースの分解にかかわる遺伝子群は転写されず発現しない。(79字)
- (ii) ラクトース代謝産物が調節タンパク質に結合することでオペレーターに結合できなくなる。その結果 RNAポリメラーゼがプロモーターに結合し、遺伝子が発現する。(75字)

問(5) 難易度：★★★★☆

遺伝子の発現調節に関する考察問題だが、きちんと考えればやさしい問題である。まず、GFP の蛍光は各 DNA のレポーター遺伝子の発現によりもたらされるもので、レポーター遺伝子の発現量に依存している。さらに、各サンプルで DNA 濃度は等しく、翻訳効率もすべて同じとしているので蛍光の量の差は遺伝子上流の調節領域による遺伝子発現の調節の具合によって決まる。

それぞれの領域が転写にどのような影響を与えるかを調べるには、その領域があるときとないときで活性の差を調べればよい。

A の領域について。DNA 1 と DNA 2 を比較して、DNA 2 の GFP 蛍光量が減っていることが読み取れるので A は転写促進だとわかる。

B の領域について。DNA 2 と DNA 3 を比較して、GFP 蛍光量が変わっていないことから B は転写に影響しないことがわかり、どちらでもない。

C の領域について。DNA 3 と DNA 4 を比較して、GFP 蛍光量が増えていることから C は転写抑制だとわかる。

D の領域について。DNA 4 と DNA 5 を比較して、GFP 蛍光量が減っていることから D は転写促進だとわかる。

E の領域について。DNA 5 と DNA 6 を比較して、GFP 蛍光量が変わっていないことから E は転写に影響しないことがわかり、どちらでもない。

よって、解答は、A：①、B：③、C：②、D：①、E：③。

問(6) 難易度：★★★★☆

問(5)を踏まえて、遺伝子の発現量を予測する問題である。(5)同様に蛍光量に影響を与える要素はレポーター遺伝子の発現量のみで、各調節領域は接続による影響を受けない、すなわち個々の領域による影響の重ね合わせがそのままレポーター遺伝子の発現量に影響することから、問(5)の各領域の結果をそのまま使えばよい。DNA 7 では A (促進) + D (促進)、DNA 8 では A (促進) + B (どちらでもない)、DNA 9 では B (どちらでもない) + C (抑制) となっているので、発現量は DNA 7 > DNA 8 > DNA 9 である。この関係を示している図を選べばよいので解答は④。

(西浦佑香, 神戸朱琉, 安藤さくら)

2016年度 東北大学 前期 生物

3 呼吸と発酵・窒素同化

出題範囲	呼吸, 発酵, 窒素同化
難易度	★★★★☆
所要時間	22分
傾向と対策	2016年度の第3問は呼吸, 発酵, 光合成および窒素循環について出題された。各小問の難易度が易～標準と、ほとんどが基本的な問題であるが、記述問題には字数制限が設けられているので、ややまとめるのに苦労したかもしれない。しかし字数制限とは、それくらいの字数の解答を求めているということなので、字数をオーバーしてしまった場合は余分なところを省いていけばベストな解答になることが多い。また、字数が少なすぎる場合は解答に必要な要素が足りていないことがほとんどなので、しっかりと見直して何が足りないのかを考えよう。字数制限の問題は慣れが必要であるので、過去問をしっかりと解いて慣れておくようにしたい。

解答

- 問(1) ア：グルコース イ：ピルビン酸 ウ：NADH エ：アセチル CoA オ：オキサロ酢酸
カ：二酸化炭素 (CO₂) キ：エタノール
- 問(2) 生体膜を挟んだ水素イオンの濃度勾配という形。(22字)
- 問(3) (i)硝化 (ii)硝酸
- 問(4) (c)の過程で NADH が酸化されて NAD⁺が生じるため、この反応が進まなければ、NAD⁺が不足し解糖系が進行しなくなるから。(62字)
- 問(5) (i)①
(ii)酸素発生型光合成を行うシアノバクテリアが出現・繁栄したため。(30字)
(iii)好気呼吸の方が、同量のグルコースから生成される ATP 量のはるかに多いため。(37字)
- 問(6) ク：植物 ケ：アンモニウムイオン (NH₄⁺) コ：硝酸イオン (NO₃⁻)
サ：α-ケトグルタル酸 (ケトグルタル酸) シ：動物
- 問(7) ②
- 問(8) 窒素固定
- 問(9) 根粒菌が窒素固定によって生育に必要な無機窒素化合物を供給してくれるため、窒素成分の少ない貧栄養な土地でも生育することができるから。(65字)

解説

問(1) 難易度：★★★★☆

まず、次の図で呼吸のメカニズムを確認しよう。

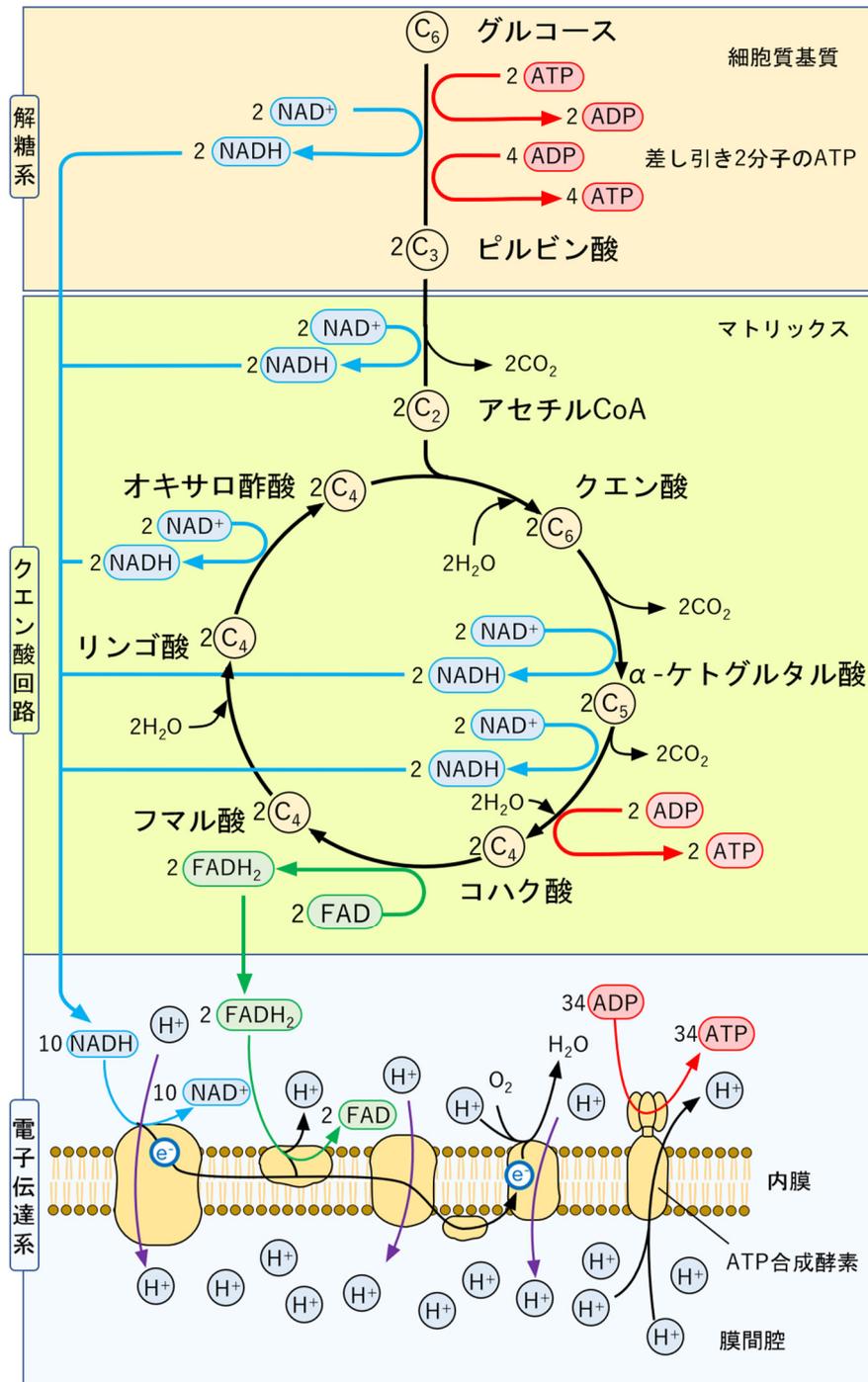


図 A 呼吸のメカニズム

呼吸は3つの過程に大別できる。解糖系、クエン酸回路、電子伝達系における反応である。

まず、デンプンやグリコーゲンは、その構成単位である **ア** : **グルコース** に分解され、**解糖系** に入る。解糖系では、1分子のグルコースが2分子の **イ** : **ピルビン酸** に分解され、この過程で差し引き2分子のATPと2分子の **ウ** : **NADH** が合成される。この過程は細胞質基質で進行する。

次に、2分子のピルビン酸は2分子の **エ** : **アセチル CoA** に変化するが、この過程で2分子のNADHが生じる。アセチル CoA は **オ** : **オキサロ酢酸** と結合し、C₆化合物（炭素を6つもつ化合物）である**クエン酸**が

生じる。2分子のクエン酸は、 C_5 化合物の α -ケトグルタル酸、 C_4 化合物のコハク酸、リンゴ酸などを経て2分子のオキサロ酢酸になるが、この過程で4分子の CO_2 、2分子の ATP、6分子の NADH、2分子の $FADH_2$ が生じる。したがって、クエン酸回路全体ではグルコース1分子あたり6分子の CO_2 、2分子の ATP、8分子の NADH、2分子の $FADH_2$ が生じる。生じたオキサロ酢酸は、アセチル CoA と結合し、このサイクルが繰り返されていく。この過程をクエン酸回路といい、ミトコンドリアのマトリックスで行われる。

解糖系、クエン酸回路では1分子のグルコースから NADH が計10分子、 $FADH_2$ が2分子生じるが、これらはミトコンドリアの内膜に分布する酵素によって酸化され、 NAD^+ 、 FAD となる。この際にエネルギーの高い電子が放出され、電子伝達系を流れる。この過程で生じるエネルギーによって内膜の内側に存在していた水素イオン (H^+) が、膜間腔に輸送され、水素イオンの濃度勾配が形成される。最後に電子は水素イオンおよび酸素と反応して水が生成する。また、形成された濃度勾配によって、水素イオンは ATP 合成酵素を通して膜間腔から内膜の内側 (マトリックス) へ放出され、この際に ATP が合成される。

次に、酵母が行うアルコール発酵のメカニズムを図で確認しよう。

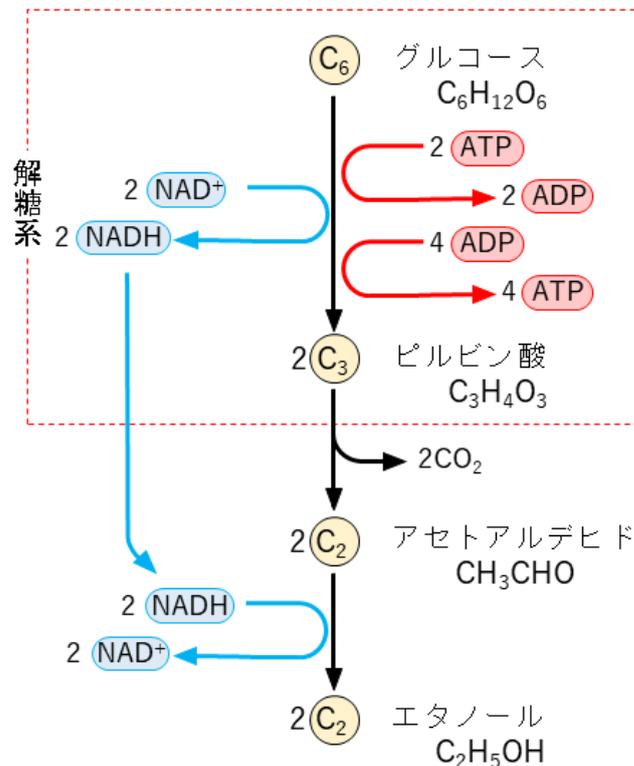


図 B アルコール発酵のメカニズム

アルコール発酵では、1分子のグルコースから2分子のピルビン酸が作られ、この過程で差し引き2分子の ATP と2分子の NADH が作られる。この過程は、呼吸と同様に解糖系とよばれる。

2分子のピルビン酸は2分子の : 二酸化炭素 (CO_2) と2分子のアセトアルデヒドに分解され、2分子のアセトアルデヒドは2分子の : エタノールへと変化する。この過程で NADH が酸化され NAD^+ が生成する。

よって、解答は、ア : グルコース、イ : ピルビン酸、ウ : NADH、エ : アセチル CoA、オ : オキサロ酢酸、

カ：二酸化炭素 (CO₂)、キ：エタノールである。

基本的な知識が問われている問題である。頻出の問題ではあるが、意外と順番が曖昧になっていたり、何が何に変化するのか忘れていたりする可能性があるため、しっかりと図 A と図 B で確認しておきたい。

問(2) 難易度：★★★★☆

電子伝達系では、NADH や FADH₂ が酵素のはたらきによって酸化され、それにより電子が流れる。その際に放出されるエネルギーによって、水素イオンが内膜の内側から膜間腔に輸送されるため、膜間腔の水素イオン濃度が内膜の内側に比べ非常に大きくなる。この水素イオンの濃度勾配によって、水素イオンは ATP 合成酵素を通して、膜間腔から内膜の内側に移動する。この際に ATP が合成されるのである。

すなわち、電子が流れるときに放出されるエネルギーは、水素イオンの濃度勾配として蓄えられているということができる。「生体膜」という用語を使う必要があるが、水素イオン濃度勾配は前述のように、内膜の内側と外側（膜間腔）で形成されるので、この濃度勾配を形成する生体膜は、ミトコンドリアの内膜だと考えることができる。よって、解答は次のようになる。

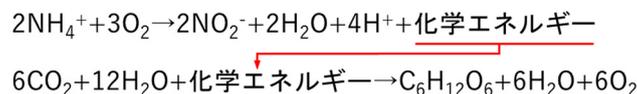
解答例

生体膜を挟んだ水素イオンの濃度勾配という形。(22 字)

使う用語が示されているので、何を書くべきなのかは明白であろう。ただ、指定の文字数が少ないので、解答の際は注意したい。

問(3) 難易度：★★★★☆

亜硝酸菌は、アンモニウムイオンの化学エネルギーを利用して、**化学合成**を行う。生物の遺骸や排泄物中の窒素化合物が分解者のはたらきによって分解されて生じるアンモニア (NH₃) は、自然界ではアンモニウムイオン (NH₄⁺) となり、**亜硝酸菌**はこれを**亜硝酸イオン** (NO₂⁻) に酸化した際に発生するエネルギーを利用して、炭酸同化を行う。この過程と硝酸菌が亜硝酸イオンを硝酸イオンに酸化する過程をあわせて**硝化**という。よって、(i)は硝化。亜硝酸菌が行う上記の反応を化学反応式で表すと、以下のようになる。



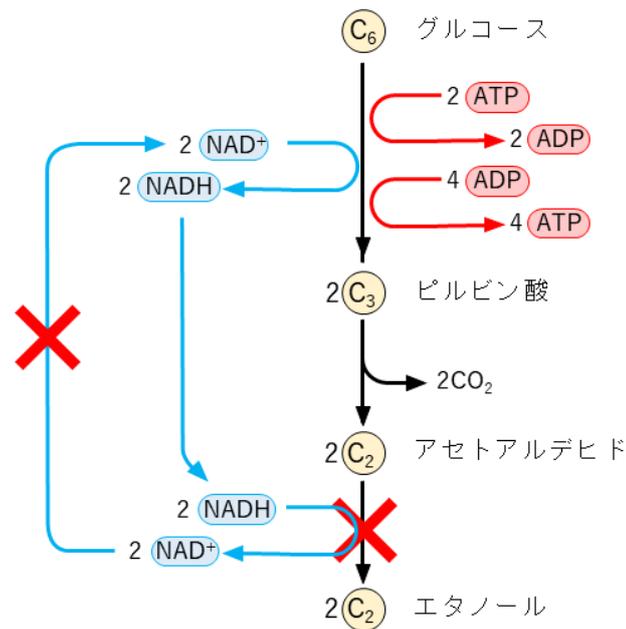
なお、亜硝酸イオンは (NO₂⁻) は、**亜硝酸** (HNO₂) と平衡状態で存在するので、硝化によりできる最終生成物は硝酸である。よって、(ii)は硝酸。

以上より、解答は、(i)**硝化**、(ii)**硝酸**である。(i)、(ii)いずれも基本的な知識問題である。

問(4) 難易度：★★★★☆

問(1)で説明したとおりアルコール発酵では、まず1分子のグルコースから2分子のピルビン酸が生じるが、この過程は呼吸と内容も同じであり、同様に解糖系とよばれる。解糖系では NAD^+ から NADH が作られるが、この NADH はアセトアルデヒドがエタノールに変化する過程で利用されて NAD^+ となり、再び解糖系で使われる。したがって、下線部(c)の反応が存在しなければ、 NADH から NAD^+ が生成しないため、解糖系で使われる NAD^+ が不足し、グルコースがピルビン酸に変化できない。そのため解糖系における反応が止まってしまい、発酵が続けられなくなってしまう。したがって、下線部(c)の反応は重要なのである。

(C)の反応が進まないと…

図 C (c)の反応が進行しない時の NAD^+ の流れ

ちなみに、好気呼吸では、解糖系やクエン酸回路で生成した NADH や FADH_2 は電子伝達系の反応においてそれぞれ NAD^+ 、 FAD となり、解糖系やクエン酸回路で再度利用される。

解答は以下のとおり。

解答例

(c)の過程で NADH が酸化されて NAD^+ が生じるため、この反応が進まなければ、 NAD^+ が不足し解糖系が進行しなくなるから。(62 字)

ローマ字や記号などが出てくるので、文字数に注意したい。

◆Check!!

乳酸発酵

問(4)ではアルコール発酵について考えたが、頻出のもう1つの発酵である**乳酸発酵**についても復習しておこう。次の図に乳酸発酵のプロセスを示す。

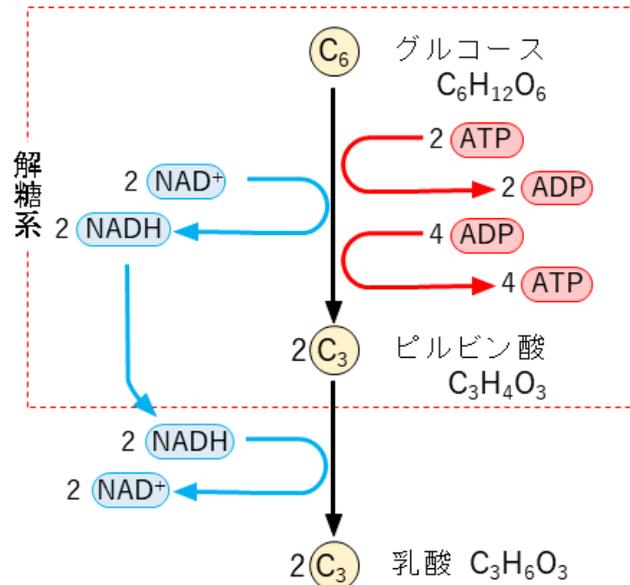


図 D 乳酸発酵のメカニズム

乳酸発酵も解糖系の過程から始まる。この過程で1分子のグルコースは2分子のピルビン酸になるが、この時、差し引き2分子のATPと2分子のNADHが合成される。ピルビン酸はその後、NADHによって還元され、**乳酸**ができる。

運動をして筋肉に疲労を感じた際に「乳酸がたまった」ということがある。これは、筋肉の細胞に供給される酸素が不足したために、ミトコンドリアにおける呼吸が十分にできなくなり、乳酸発酵が進んで乳酸が筋細胞に蓄積されたということを指していっていた。乳酸が長年疲労の原因となる物質と考えられていたことに起因するが、近年それは間違いであるという説が有力になっている。「乳酸がたまった」を使うのはもう古いのかもしれない。

問(5) 難易度：★★★★☆

(i) **先カンブリア時代**に出現した**エディアカラ動物群**は、扁平な体をもち骨格や殻などの硬い構造はなく、体表面から酸素を吸収し、好気呼吸をしていたと考えられている。こういった知識から、好気呼吸を行う生物の出現時期を類推することができる。

以上より、解答は①。

(ii) 以下の図から、大気中の酸素濃度の推移とシアノバクテリアや真核生物の出現時期を確認してほしい。

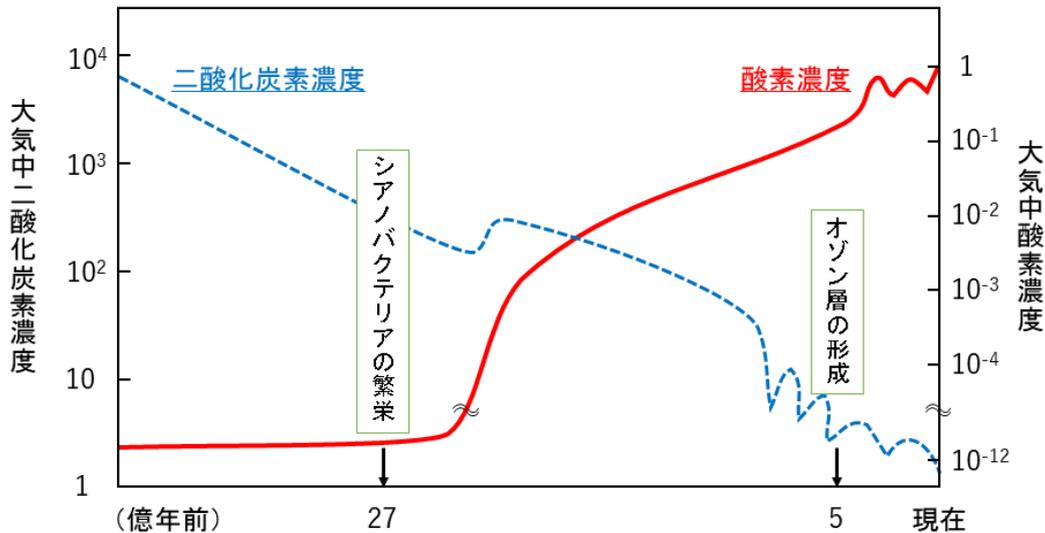


図 E 現代に至るまでの大気中の酸素濃度の変化

シアノバクテリアは葉緑体の起源とも考えられている原核生物で、二酸化炭素を用いて酸素発生型の光合成を行う。このため、シアノバクテリアの誕生は大気中の酸素濃度の増加を引き起こした。さらに、シアノバクテリアは約 27 億年前に大繁栄し、それに伴って大気中の酸素濃度は大きく上昇していった。解答は以下のとおり。

解答例

酸素発生型光合成を行うシアノバクテリアが出現・繁栄したため。(30 字)

「酸素発生型」という語句が与えられているので、答えやすいだろう。あまり時間をかけずに正解したい。

(iii) 呼吸（好気呼吸）と発酵の反応式を書いて呼吸の利点を確認してみよう。

まず呼吸の式は、次のようになる。



次に、アルコール発酵および乳酸発酵の式は次のようになる。



これを見ると、呼吸ではグルコース 1 分子に対して最大 38 分子（解糖系で 2 分子＋クエン酸回路で 2 分子＋電子伝達系で最大 34 分子）の ATP が合成されるのに対し、発酵ではグルコース 1 分子に対して 2 分子（解糖系で 2 分子）の ATP しか合成されないことがわかる。

したがって、グルコース 1 分子から得られるエネルギーの量が、呼吸の方が発酵よりも断然多いのである。よって、酸素が多い環境では、発酵よりも呼吸を行った方が効率良くエネルギーを得ることができ、生存に有利な

のである。実際に発酵を行う酵母では、酸素濃度の高い環境下では発酵が抑制され、おもに呼吸を行っている。これをパスツール効果という。

よって、解答は以下のとおり。

解答例

好気呼吸の方が、同量のグルコースから生成されるATP量のはるかに多いため。(37字)

よく問われるポイントなので、一度は類題を見たことがあるだろう。

問(6) 難易度：★★★★☆

ク：植物や窒素同化細菌は、ケ：アンモニウムイオン (NH_4^+) やコ：硝酸イオン (NO_3^-) などの無機窒素化合物を体外から取り入れ、硝酸イオンはそれらの体内でアンモニウムイオンに変えられる。その後、窒素同化の過程においてアンモニウムイオンとサ： α -ケトグルタル酸 (ケトグルタル酸) から有機窒素化合物が作られる。

窒素同化の過程を次の図で確認しよう。

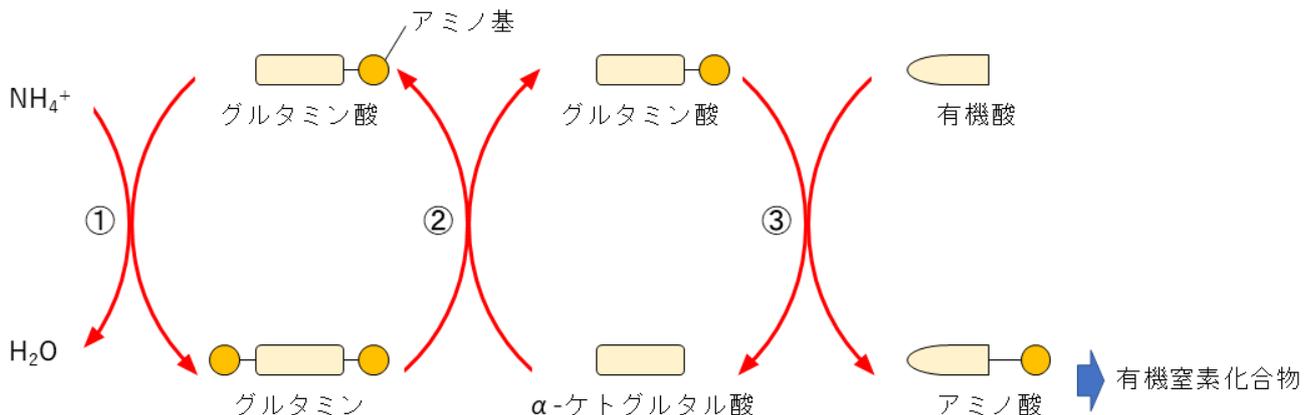


図 F 窒素同化のメカニズム

- ① NH_4^+ はグルタミン酸と反応し、グルタミン酸にアミノ基を1個付加してグルタミンを作る。
- ② グルタミンは α -ケトグルタル酸にアミノ基を1個付加してグルタミンを作る。自身はグルタミン酸に戻る。
- ③ グルタミン酸は有機酸にアミノ基を1個付加してアミノ酸を作り、それをもとにタンパク質などの有機窒素化合物が作られる。グルタミン酸自身は α -ケトグルタル酸に戻る。

α -ケトグルタル酸にアミノ基が1個ついたものがグルタミン酸、2個ついたものがグルタミンであり、グルタミンや α -ケトグルタル酸はグルタミン酸に変化して再び利用される。

さて、一方でシ：動物は、植物、あるいは下位の消費者を摂食することで直接的・間接的に植物が作った有機窒素化合物を摂取している。また、キノコやカビといった菌類も、生きている生物や死んだ生物などから栄

養を吸収し、直接的・間接的に植物が作った有機窒素化合物を摂取している。動物や菌類が摂取した有機化合物は、それらの体内に必要な物質に作りかえられる。

よって、解答は、ク：植物，ケ：アンモニウムイオン (NH_4^+)，コ：硝酸イオン (NO_3^-)，サ： α -ケトグルタル酸 (ケトグルタル酸)，シ：動物である。

語句の穴埋め問題であり、基本的な知識が問われている。しっかりと正解したい問題である。

問(7) 難易度：★★★★☆

「サ」に入る語句は、 α -ケトグルタル酸 (ケトグルタル酸) である (問(6)の解説参照)。問(1)の解説の呼吸のメカニズムの図を見ると、 α -ケトグルタル酸は、クエン酸回路の過程の中間体であることがわかる。クエン酸回路において α -ケトグルタル酸は、イソクエン酸が NAD^+ によって酸化され炭素が二酸化炭素として放出されることにより生じる。

よって、解答は②。呼吸や発酵，光合成のプロセスを覚えていればすぐに正解がわかるだろう。クエン酸回路に出てくる物質名もしっかりと覚えておこう。

問(8) 難易度：★★★★☆

根粒菌やアゾトバクター，クロストリジウムなどの細菌は**窒素固定細菌**とよばれ，空気中の窒素をアンモニウムイオンにして，土壤中に固定している。これを**窒素固定**という。窒素固定によって作られたアンモニウムイオンは，亜硝酸菌・硝酸菌によって硝化されたり，植物や細菌に取り入れられたりする。また，一部は**脱窒素細菌**によって窒素に戻され (**脱窒**)，大気中に放出される。

以上より，解答は**窒素固定**。これも基本的な語句問題である。

問(9) 難易度：★★★★☆

下線部(e)のとおり，**根粒菌**はマメ科植物と共生関係にある。根粒菌はマメ科植物の根について生活する窒素固定細菌であり，空気中の窒素をマメ科植物が利用可能なアンモニウムイオンにして，マメ科植物に供給している。一方で，マメ科植物は光合成によって作った糖やデンプンなどを根粒菌に供給している。つまり，両者は互いに利益を得ることができる**相利共生**の関係にある。

では，マメ科植物が根粒菌と共生することでどうして分布域の拡大に役立つのだろうか。それは，前述したように，根粒菌がマメ科植物の窒素同化に必要なアンモニウムイオンを供給してくれるからであろう。これによって，マメ科植物は無機窒素化合物の少ない貧栄養な土地でも，他の植物に比べて窒素同化を安定して行い生育することができる。そのため，他の植物との競争にも有利になると考えられる。

解答は以下のとおり。字数指定に気をつけよう。

解答例

根粒菌が窒素固定によって生育に必要な無機窒素化合物を供給してくれるため，窒素成分の少ない貧栄養な土

地でも生育することができるから。(65 字)

(熊井勇介, 神戸朱琉, 後藤暁彦)