昭和医科大学 2024年度 生物 そっくり類題演習セット【問題編】

TMPS生物道場｜制限時間：65分｜配点：100点満点

解説：Sora先生（TMPS医学館）
対象：医学部一般選抜対策

第1問　植物の窒素同化・硝酸還元と生態系の窒素循環（24点）

植物が根から吸収した硝酸イオン（NO_3^-）は、細胞質基質で **[ア]** 酵素により亜硝酸イオン（NO_2^-）に還元された後、細胞小器官の **[イ]** へ運ばれ、**[ウ]** 酵素によりアンモニウムイオン（NH_4^+）へと還元される。その後、NH_4^+ はグルタミン酸と結合して **[エ]** となり、さらに **[オ]** と反応して2分子のグルタミン酸を生じる（GS-GOGAT回路）。一方、土壌中の硝酸イオンが嫌気的条件で細菌のはたらきにより窒素ガス（N_2）として大気中へ放出される反応を **[カ]** とよぶ。

1. 空欄 [ア]〜[カ] に当てはまる適切な語句を答えよ。
2. 植物が NH_4^+ を直接大量に蓄積せず、速やかに [エ] やグルタミン酸に変換する理由を簡単に説明せよ。
3. 根から吸収されたアンモニウムイオン（NH_4^+）中の窒素の 80% がタンパク質に取り込まれ、タンパク質が 35 g 生成されたとき、吸収された NH_4^+ は何 g か計算せよ。ただし、タンパク質の窒素含量を 16%、H = 1.0, N = 14 とし、小数点以下は四捨五入せよ。
4. マメ科植物と共生する根粒菌が窒素固定を行う際、植物側が根粒菌に供給する物質と、根粒内で酸素濃度を低く保ちつつ根粒菌に酸素を供給するタンパク質の名称をそれぞれ答えよ。

第2問　マウスの皮膚移植・胸腺移植実験とT細胞の選択（25点）

純系マウスA、純系マウスB、AとBの雑種第一代マウスF_1、および生まれつき胸腺を欠損したヌードマウスC（遺伝的背景は系統Aと同一とする）を用いて以下の実験を行った。

＜実験1＞ マウスA, B, F_1 の間で皮膚移植を行った。

＜実験2＞ ヌードマウスCにマウスF_1 の**胸腺**を移植して成熟させた個体（マウスC'）を作製し、マウスAおよびマウスBの皮膚を移植した。

1. 胸腺内で分化中のT細胞（胸腺細胞）が、①自己のMHC分子と結合できるものだけ生き残る過程、および ②自己抗原と強く結合するものがアポトーシスにより排除される過程をそれぞれ何というか（正の選択・負の選択の語を用いて答えよ）。
2. 実験1において、マウスF_1 をドナー、マウスAをレシピエントとして皮膚移植を行うと生着するか、脱落するか。また、その理由をMHC抗原の観点から述べよ。
3. 拒絶反応において、移植片の細胞を直接攻撃して死滅させる主な免疫細胞の名称と、その細胞が認識する標的細胞表面の分子を答えよ。
4. 実験2において、マウスC'に移植したマウスAおよびマウスBの皮膚はそれぞれ生着するか、脱落するか。理由とともに述べよ。

第3問　肝臓の構造・血糖調節・胆汁とオルニチン回路（25点）

肝臓には消化管からの **[ア]** と腹部大動脈からの **[イ]** が流入し、肝小葉を通過して中心静脈から **[ウ]** を経て下大静脈へ流出する。肝細胞では古くなった赤血球のヘモグロビンが分解されて黄色色素の **[エ]** が生じ、胆汁の成分として放出される。また、アミノ酸の脱アミノ反応で生じた有害なアンモニアは **[オ]** 回路によって無害な尿素へと変換される。

1. 空欄 [ア]〜[オ] に適切な語句を入れよ。
2. **絶食時（空腹時）**において、血中のグルコース（血糖）濃度が最も高くなる血管を [ア], [イ], [ウ] の記号で選び、その理由をホルモン名と肝臓での反応を含めて35字以内で説明せよ。
3. 胆汁に含まれる「胆汁酸」には消化酵素が含まれていないが、脂肪の消化を助ける働きがある。どのような仕組みで脂肪の消化を助けるか簡単に説明せよ。
4. 肝臓の [オ] 回路において、1日のうちに尿素（$CO(NH_2)_2$、分子量 60）が 30 g 合成されたとき、この尿素合成で消費されたアンモニア（NH_3、分子量 17）は何 g か整数で求めよ。

第4問　分子進化の中立説・偽遺伝子と分子系統樹の解析（26点）

分子進化の速度（1年・1アミノ酸または1塩基あたりの置換数）は、機能的制約が弱い領域ほど速い。現存する脊椎動物種P, Q, R, S, Tについて、あるタンパク質（アミノ酸総数 150個）のアミノ酸置換数を調べたところ、次の結果が得られた。

・P-Q間：10個 ／ P-R間、Q-R間：ともに 20個 ／ P-S間、Q-S間、R-S間：すべて 40個 ／ P-T間、Q-T間、R-T間、S-T間：すべて 80個

なお、種Pと種Qが共通祖先から分岐した年代は化石記録から **1000万年前** と推定されており、各系統でのアミノ酸置換速度は一定であるとする。

1. 機能を失った遺伝子である「偽遺伝子」では、機能をもつ通常の遺伝子と比べて塩基置換の速度が著しく速い。この理由を木村資生の中立説に基づいて簡単に説明せよ。
2. フィブリノペプチドとヒストンH4では、どちらの方がアミノ酸置換速度が速いか。またその理由を簡単に述べよ。
3. 種P, Q, R, S, T の中で、最も初期に他のすべての種と分岐した外群はどの種か。また、種Sが（P, Q, R）の共通祖先と分岐した年代は何万年前と推定されるか答えよ。
4. （P, Q, R）の共通祖先の分岐点から、（P, Q）の共通祖先の分岐点までの間に、1つの系統あたり何個のアミノ酸置換が蓄積したと推定されるか答えよ。
5. 種Pと種Qの分岐（1000万年前）から現在までに、このタンパク質における「1アミノ酸サイトあたり・1年あたり」の置換速度 k はいくらか計算せよ（指数表記 $a \times 10^{-b}$ で答えよ）。

昭和医科大学 2024年度 生物 そっくり類題演習セット【解答・解説編】

Sora先生のメタ認知的アプローチによる採点基準＆スピード解法

解説：Sora先生（TMPS医学館）
目標得点：80 / 100点

大問	設問	最終解答	採点基準・チェックポイント
第1問	問1	[ア] **硝酸還元** ／ [イ] **葉緑体（色素体）** ／ [ウ] **亜硝酸還元** [エ] **グルタミン** ／ [オ] **2-オキソグルタル酸** ／ [カ] **脱窒**	NO_3^-→NO_2^-は細胞質基質、NO_2^-→NH_4^+は葉緑体で行われる
	問2	**アンモニウムイオンは細胞に対して毒性（有害性）があるため、速やかに無害な有機窒素化合物へ変換する必要があるから。**	NH_4^+の細胞毒性（光リン酸化の脱共役作用など）に言及
	問3	**9 g**	タンパク質35 g中のN = 5.6 g → 吸収N = 5.6/0.80 = 7.0 g → NH_4^+(式量18) = 7.0×18/14 = 9.0 g
	問4	植物が供給する物質：**光合成産物（有機物・スクロースなど）** 酸素供給タンパク質：**レグヘモグロビン**	ニトロゲナーゼは酸素で失活するためレグヘモグロビンがO_2分圧を調節
第2問	問1	①：**正の選択** ／ ②：**負の選択**	胸腺皮質での正の選択と髄質での負の選択（中枢性免疫寛容）
	問2	**脱落する。理由：F_1の皮膚細胞はマウスB由来のMHC抗原も発現しており、マウスAの免疫系に非自己と認識されて攻撃されるから。**	共優性によりF_1がA・B両方のMHCをもつ点を明記
	問3	免疫細胞：**キラーT細胞（細胞傷害性T細胞）** 認識する分子：**非自己のMHC（クラスI）分子（とペプチドの複合体）**	細胞性免疫の主役であるキラーT細胞とMHC抗原の認識
	問4	**A・Bともに生着する。理由：移植されたF_1の胸腺内で分化したT細胞はAとBの両方のMHC抗原に対して免疫寛容が成立しているから。**	胸腺上皮細胞のMHC型によって自己認識の基準が決まる
第3問	問1	[ア] **門脈（肝門脈）** ／ [イ] **肝動脈** ／ [ウ] **肝静脈** [エ] **ビリルビン** ／ [オ] **オルニチン（尿素）**	ヘモグロビン分解産物＝ビリルビン（胆汁色素）
	問2	記号：**[ウ]** 理由：**グルカゴン等の作用で肝臓のグリコーゲンがグルコースに分解され放出されるため。**	食後は[ア]門脈が最高だが、絶食時は肝臓から糖を供給する[ウ]肝静脈が最高
	問3	**脂肪を乳化（微細な粒子に分散）して表面積を大きくし、リパーゼが作用しやすくする。**	キーワード「乳化」「表面積の増大」「リパーゼの作用促進」
	問4	**17 g**	尿素1分子(分子量60)の合成にNH_3(分子量17)が2分子消費：30/60 × 2 × 17 = 17 g
第4問	問1	**偽遺伝子はタンパク質に翻訳されず機能をもたないため、生じた突然変異がすべて自然選択に対して中立となり排除されずに集団内に蓄積するから。**	機能的制約がなく純化選択（負の自然選択）を受けない点
	問2	速いもの：**フィブリノペプチド** 理由：**ヒストンH4より機能的制約が弱く、アミノ酸置換が機能に影響しにくい（中立な変異が多い）から。**	機能的制約の強弱と進化速度の逆相関
	問3	外群：**種T** ／ 種Sの分岐年代：**4000万年前**	P-Q差10＝1000万年前より、種間差1＝100万年。Sとの差40＝4000万年前
	問4	**5 個**	(P,Q,R)分岐は種間差20（1系統10個）、(P,Q)分岐は種間差10（1系統5個）→ 10 - 5 = 5個
	問5	**3.3×10^{-9}（または $1/3\times10^{-8}$） /年・サイト**	1系統あたり1000万年(10^7年)で5個置換：(5 / 150) ÷ 10^7 = 3.3×10^{-9}

【第1問・第2問 解説のポイント】

・**第1問 問3**：生成したタンパク質 35 g 中の窒素質量は 35 × 0.16 = 5.6 g です。これが吸収された窒素の 80% にあたるので、吸収された窒素の総質量は 5.6 ÷ 0.80 = 7.0 g となります。アンモニウムイオン NH_4^+ の式量は 14 + 4 = 18 なので、吸収された NH_4^+ の質量は 7.0 × (18 / 14) = **9.0 g** です。

・**第2問 問4**：T細胞が何を「自己」と認識するかは、T細胞が分化・成熟する場である**胸腺の上皮細胞が発現しているMHC抗原**によって教育（正の選択・負の選択）されます。F_1 の胸腺を移植されたヌードマウスC'では、A型・B型両方のMHCに対して負の選択（自己反応性クローンの排除＝免疫寛容）が成立するため、Aの皮膚もBの皮膚も生着します。

【第3問・第4問 解説のポイント】

・**第3問 問4**：オルニチン回路では、オルニチン→シトルリンで 1分子、シトルリン→アルギニンで 1分子の計 **2分子の NH_3** が取り込まれて **1分子の尿素 $CO(NH_2)_2$** が生成します。尿素 30 g は 30 / 60 = 0.50 mol なので、消費された NH_3 は 0.50 × 2 = 1.0 mol、すなわち 1.0 × 17 = **17 g** です。

・**第4問 問3〜問5**：P-Q間の置換数 10個（1系統あたり 5個）が 1000万年前（1.0×10^7年前）に対応するので、種間差 40個の種Sの分岐は **4000万年前**、種間差 80個の種Tの分岐は 8000万年前（外群）です。また (P,Q,R) 分岐点（種間差20＝1系統10個）から (P,Q) 分岐点（種間差10＝1系統5個）までの1系統あたりの置換数は 10 - 5 = **5個** であり、進化速度 k は (5個 / 150アミノ酸) ÷ 10^7年 = **3.3×10^{-9} /年・アミノ酸** となります。