

生物問題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

- [1] 発生のメカニズムを知るために行った実験1～3に関する文章を読み、問1～4に答えよ。

実験1. 2つのイモリ胚(胞胚期)から動物極側と植物極側を切り取り、動物極片を植物極片の上のせて培養した(図1)。その結果、培養した細胞塊の中に筋細胞、血球、脊索などが出現した。対照として動物極側のみを培養した場合は、未分化な表皮細胞だけから構成される細胞塊になった。

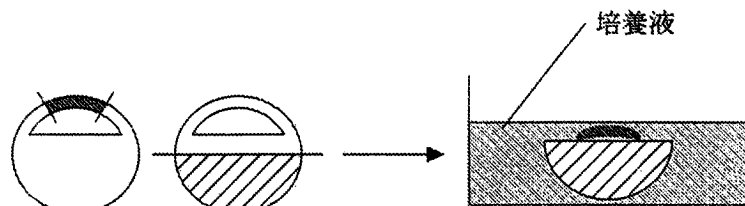


図1. 動物極側(上側灰色部)と植物極側(下側斜線部)を切り取り培養する。

実験2. 実験1では血球や筋細胞などが出現したが、これは植物極側の細胞が分泌する物質によって動物極側の細胞が特定の細胞種に分化したことによると考えられる。この分化誘導作用を示す物質としてタンパク質Xが予想されたので、胞胚期の動物極側を切り取り、タンパク質Xを溶かした溶液中(10 ng/ml, 50 ng/ml, 100 ng/mlの3種類)で培養した。それぞれの濃度で100個ずつの動物極片についてこの実験を行い、培養後一つ一つの組織片の中に含まれる細胞種を調べて集計したところ、図2Aのようになった。例えば、10 ng/ml 溶液で培養した場合、筋細胞を含んでいた培養細胞塊は1個、間充織を含んでいたのは79個、血球を含んでいたのは31個であった。

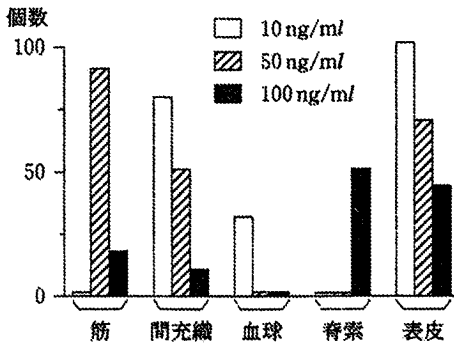


図 2 A. 各細胞の出現状況

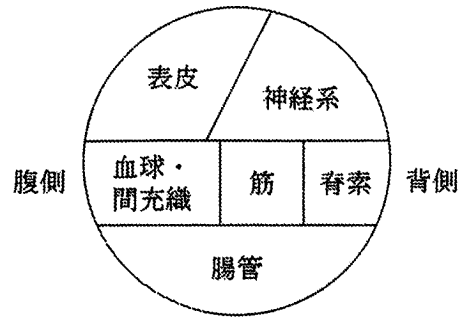


図 2 B. 予定運命地図

実験 3. 実験 2 と同様に動物極片を高濃度(100 ng/ml)のタンパク質 X を含む溶液で培養した後、別のイモリ胚の腹側胚腔部に移植したところ(図 3)、神経管を含む二次胚(頭部や尾部をもった第二の胚)が出現した。また、このようにして現れた二次胚は移植を受けた側(宿主側)の細胞に由来していることがわかった。

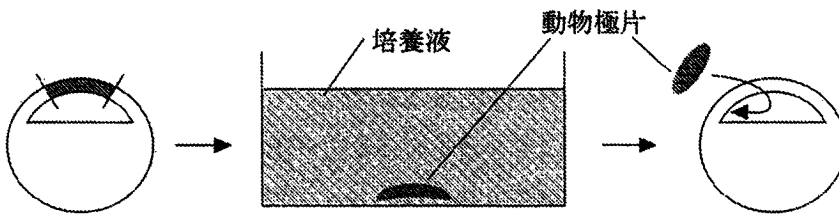


図 3. 動物極側を切り取り(左)、一旦タンパク質 X を含む溶液で培養した後(中)、別のイモリ胚の腹側胚腔部に移植する(右)。動物極片は灰色で示されている。

問 1 実験 1 では分化した細胞が出現したが、これらの細胞が動物極側に由来することを明らかにするために、一方の胚(動物極側を取り出す胚)に卵割開始前に色素液を注入し、動物極由来の細胞を標識することにした。下に示す道具をすべて用いて、空気圧で色素溶液を注入するための方法を考え、図と文章で説明せよ。ただし、色素は水溶性で細胞質内を容易に拡散し、毒性はないものとする。また、卵の直径は約 2 mm で、注入するための器具の先端径は 0.1 mm 以下にする必要がある。

道具：ガラス管(内径 1 mm, 外径 2 mm)

プラスチックチューブ(内径 2 mm, 外径 3 mm)

注射器(先端の注射針の内径 1 mm, 外径 2 mm)

ガスバーナー

問 2 実験 2 で用いるタンパク質 X を哺乳類由来の培養細胞株を用いて作らせることにした。以下の空欄に適切な語を入れよ。

タンパク質 X をコードする遺伝子を(a)と呼ばれる環状の DNA 内に挿入する。そのために、まずタンパク質 X をコードする遺伝子と環状 DNA をそれぞれ適当な(b)酵素で切断し、切り口を互いに合わせて、(c)と呼ばれる酵素でそれらをつなぐ。この組み換え DNA を株細胞の核内に入れると、外来遺伝子が(d)という酵素によって転写される。この場合、DNA を構成する塩基であるアデニン、シトシン、グアニン、チミンに、それぞれ(e), (f), (g), (h)が対応して、RNA が合成される。合成された RNA (伝令 RNA) は(i)上に移動して、そこで遺伝情報に基づいてタンパク質が合成される。伝令 RNA の塩基配列がタンパク質のアミノ酸配列に変換される際には、伝令 RNA 上の塩基配列の(j)個ずつがセットとなり、一つのアミノ酸に対応する。

問 3 (1) 実験 2 の結果から、胚の予定運命地図(図 2 B)における各細胞種の位置と添加したタンパク質 X の濃度との関係について述べよ(100 字程度)。

(2) タンパク質 X が胚の中でも図 2 A で示したような細胞種の分化を制御しているとするならば、(1)で求めた関係から、タンパク質 X は胚の中でどのように分布していると考えられるかを述べよ(50 字程度)。

問 4 実験 2, 実験 3 の結果から、神経系を含む頭部や尾部の構造が形成されるまでの誘導現象を説明せよ(100 字程度)。

〔2〕 植物の炭酸同化に関する以下の文章を読み、問1～5に答えよ。

植物の炭酸同化において、空気中に比較的低い濃度で存在する二酸化炭素を、基質としていかに効率よく利用するかは、重要な問題である。植物の表皮は二酸化炭素をほとんど通さず、二酸化炭素のとりこみは、もっぱら気孔を通して行われる。気孔からとりこまれた二酸化炭素は、さらに葉肉細胞内へと溶け込んでいく。

多くの植物では、図1-Iで示したように、葉肉細胞内に溶け込んだ二酸化炭素が直接にカルビン-ベンソン回路に入り、デンプンなどの有機物質となって固定されること^①で、炭酸同化は起こる。しかし、植物の中には図1-IIで示したように炭酸同化の反応経路を葉肉細胞と維管束鞘細胞(維管束の周辺の細胞)が分担して行うものがある。すなわち、溶け込んだ二酸化炭素が直接にカルビン-ベンソン回路に入って固定されるのではなく、葉肉細胞でいったん炭酸水素イオンとなり、これが酵素反応により炭素数3の化合物(C3化合物)と結びついて炭素数4の化合物(C4化合物)となる。生じたC4化合物は原形質連絡を通じて維管束鞘細胞へと運ばれ、そこに存在する酵素のはたらきでC3化合物が生成されるとともに再び二酸化炭素が放出される。この二酸化炭素がカルビン-ベンソン回路に入って炭酸同化に利用されるのである。この反応経路のおかげで、図1-IIのような炭酸同化を営む植物の維管束鞘細胞では、二酸化炭素の濃度が、図1-Iのような炭酸同化を営む植物の葉肉細胞中の二酸化炭素濃度と比較して数倍にも高まるという。

図1-Iで示したような炭酸同化を営む植物Aと、図1-IIで示したような炭酸同化を営む植物Bを、空気(およそ0.035%の二酸化炭素を含む)を満たした1つの密閉したガラス容器に入れ、いずれの植物にとっても光飽和となるような一定の光をあて続け、容器内の二酸化炭素濃度の経時変化を測定した。測定の間、ガラス容器内は、いずれの植物も生育可能な一定の温度に保った。図2で示したように、光照射を始めてから3時間ほどで、容器内の二酸化炭素濃度は0.01%程度まで減少し、その後は徐々に低下した。植物Bはこの間、成長を続けたが、植物Aの成長はすぐに止まり、72時間を経過した頃には、葉の黄化や落葉と

いった特徴がみられた。なお、同様の実験を、植物Aのみ、あるいは植物Bのみ
をガラス容器に入れて行ったところ、^③いずれの場合も、成長は12時間を経過した頃には止まっていたが、72時間を経過しても葉の黄化や落葉は観察されなかった。

問 1 下線①のカルビン-ベンソン回路では、光合成の明反応によって光エネルギーから転換された化学エネルギーが2種類の物質によって供給され、炭酸同化に用いられる。それらは何と何か。

問 2 下線②の光飽和とは何か、40字程度で説明せよ。

問 3 下線③のうち、植物Aのみを入れて測定した場合、容器内の二酸化炭素濃度はどのようにになると予想されるか。解答欄のグラフに実線で図示せよ。

問 4 植物Aと植物Bを1つの密閉容器で育てた場合、図2のような二酸化炭素濃度の変化を示したのはなぜか。図の(イ)の時期と(ロ)の時期に分けて、それぞれの植物の二酸化炭素の吸収量や放出量と成長の有無、および、植物Aに葉の黄化や落葉といった特徴が見られたことと関連づけて説明せよ。

問 5 図1-IIで示したような炭酸同化の反応経路を持つ植物は、一般に、気温が高く乾燥している環境での生育に適応しているという。その理由を述べよ。

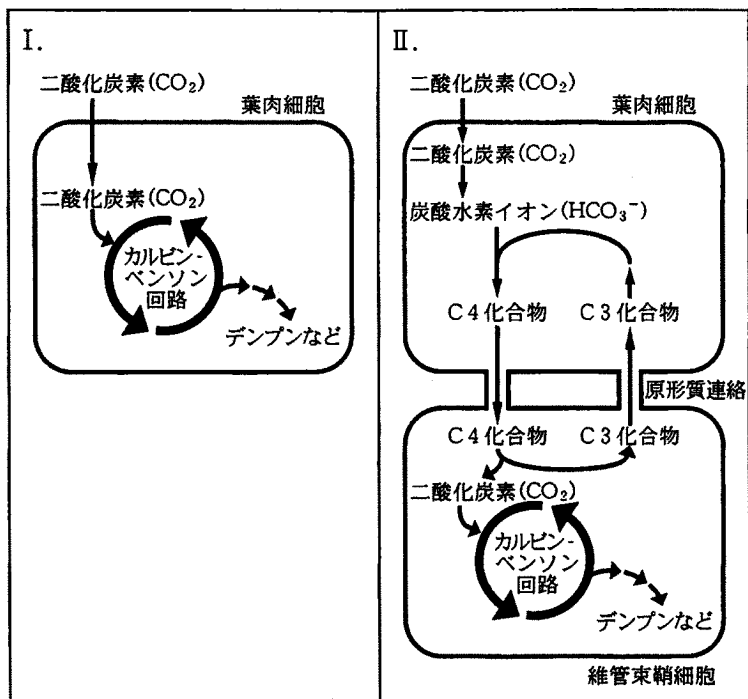


図1 植物の炭素同化における2つの異なる反応経路の概略図(反応の一部は葉緑体内で起こるが、簡略化して図示している。)

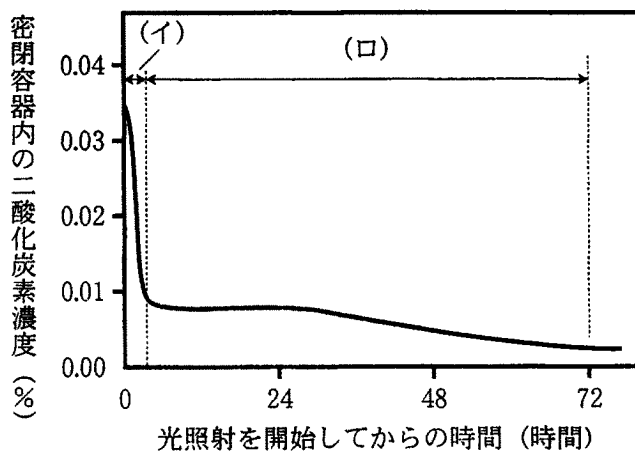


図2 植物Aと植物Bを1つの密閉容器に入れて光を照射した時の二酸化炭素濃度の経時変化

〔3〕 骨の代謝に関する以下の文章を読み、問1～3に答えよ。

骨は体を支え、臓器を保護するという機能の他に、カルシウムの貯蔵庫としても重要な役割を果たしている。骨には骨を壊す細胞(破骨細胞)と骨を造る細胞(骨芽細胞)が存在し、常に古い骨を新しい骨に造り換えている(骨改造現象)。これらの細胞は、血液中のカルシウムイオン濃度が変化すると、それに伴って分泌されるホルモンの働きにより活性を変化させる。例えば、血液中のカルシウムイオン濃度^①が低下すると、副甲状腺(上皮小体)から分泌される副甲状腺ホルモンの作用により破骨細胞が活性化され、骨の破壊が促進されることにより、骨から血液中へのカルシウムの動員が増加する。一方、血液中のカルシウムイオン濃度が上昇すると、余分なカルシウムは骨に蓄えられる。このようにして、血液中のカルシウムイオン濃度は一定の範囲内に維持されている^②。

破骨細胞は赤血球や白血球などの血液細胞の仲間で、血液幹細胞から破骨前駆細胞を経て、破骨細胞になる。このように、細胞が特殊化した形態や機能をもつ細胞へ変化していくことを分化という。破骨細胞を活性化させる副甲状腺ホルモンは、破骨細胞への分化を促進する作用も有していることが知られている。また、最近の研究から、破骨細胞への分化の過程には、骨芽細胞が重要であることが明らかとなってきた^③。これに関連して興味深いことに、破骨細胞の活性を低下させるホルモンであるカルシトニンの受容体が破骨細胞に存在するのに対して、副甲状腺ホルモンの受容体は骨芽細胞には存在するものの、破骨細胞や破骨前駆細胞には存在しないとされている^④。

問1 下線部①を分泌する器官を一般に何というか。また、人体で働くホルモンの例を2つ挙げて(本文中に挙げた例を除く)、その名称、分泌器官、及び作用を説明せよ。

問 2 下線部②に関連して、骨と並んで血液中のカルシウムイオン濃度の維持に重要な役割を果たしている臓器が2つ知られている。これらの臓器は、カルシウムの取り込みと排泄の調節に直接関与することにより、血液中のカルシウムイオン濃度を維持している。その臓器とは何と何か。

問 3 下線部③に関して、骨芽細胞が破骨前駆細胞から破骨細胞への分化過程にどのように働くかを明らかにするために以下の実験を行った。破骨前駆細胞、骨芽細胞、副甲状腺ホルモンを表の a, b, c, d の4通りの組合せで、図1 (破骨前駆細胞と骨芽細胞を均等に混ぜて培養) または図2 (破骨前駆細胞と骨芽細胞をフィルターで分離して培養) に示す条件で7日間培養したところ、表の d の組合せを図1の条件で培養した場合のみ破骨細胞への分化が認められた。次の設問に答えよ。なお、タンパク質などの高分子はフィルターを通り抜けられるが、細胞はフィルターを通り抜けられないものとする。また、培養の開始時に加えるそれぞれの細胞数はいずれの条件でも同じものとする。

- (1) この実験結果と下線部④の記述から、副甲状腺ホルモンがどのようにして破骨細胞への分化を促進させると考えられるか、70字以内で答えよ。
- (2) 表の d の組合せで培養しても、図2の条件では破骨細胞への分化が認められなかったことからどのようなことが考察されるか、40字以内で答えよ。

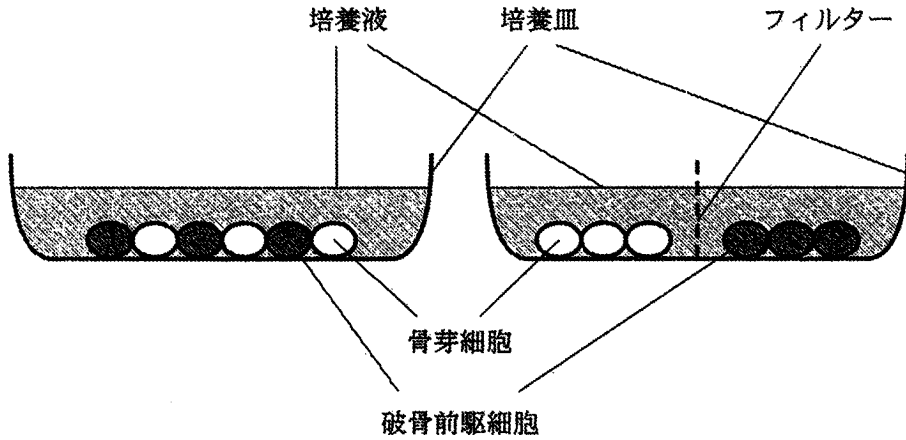
表

組合せ	破骨前駆細胞	骨芽細胞	副甲状腺ホルモン
a	+	-	-
b	+	-	+
c	+	+	-
d	+	+	+

+-は各々、有無を示す。

図 1

図 2



〔4〕 次の文章を読み、問1～5に答えよ。

異なる2種またはそれ以上の生物が1つの場を共有し、そのことで少なくとも1つの種の生き方が影響を受ける関係を「共生」と定義する。この定義では2種の共生の場合、双方が利益を受ける関係だけでなく、一方のみが利益を受け他方が不利益をこうむる寄生や、捕食・被食の関係も共生に含まれる。アリマキとテントウムシの関係のように、「天敵」というかたちで捕食者を特定できる場合には、捕食・被食の関係はある方向性をもった進化の要因となりうる。つまり、被食者は捕食者から逃れやすい方向へ、捕食者は被食者を効率的に捕らえるという方向へ体のつくりなどが変化(進化)することになる。大部分の動物では、捕食者の存在によって個体群が適正規模に保たれるという側面もある。したがって捕食・被食の関係にも相互依存の面があるといえる。このように相互関係が軸となっておのおの生物がある方向へ進化する現象は共進化とよばれる。

植物にとって最大の敵は葉を食べる昆虫である。植物の進化では、虫媒花の花の構造の進化のほか、植食昆虫対策も重要である。ここにも共進化がみられる。敵が来ても逃げられない植物の戦略は、植食昆虫に食べられないように対策をとることである。植物には、昆虫の嫌がる化学物質を合成して葉などに蓄積するものや、エクジソンを合成しているものがある。

① 動植物の相互関係の面から興味のある例に寄生バチ(蜂)がある。寄生バチは別の昆虫の幼虫に卵を産みつける。卵は宿主幼虫の体内で^{ふか}孵化し幼虫になり、宿主の養分を摂取しつつ成長する。最後に宿主を食い破って羽化し、外界へとび出す。寄生バチの幼虫は、その成育に合わせて宿主幼虫の生理を調節することも知られている。② 寄生バチの主な宿主は、植物の葉を食害するチョウやガの幼虫である。植物は植食昆虫に食害されると、植物の代謝経路が活性化され、それまでほとんど合成していなかった有毒物質を含むさまざまな物質を生産するようになる。また、昆虫に食害されつつある植物のなかには、寄生バチを誘引する効果のある揮発性物質を合成し、空气中に放散するものが知られているが、食害を受けてもそのような誘引物質を出さない植物も多い。③

植物の昆虫対策の結果、植物は多種の昆虫に食害される危険から免れ、その植

物にとっての敵となる昆虫は特定の1ないし数種に限られたものになったと考えられる。この関係は宿主特異性とよばれる。

問 1 エクジソンの生理作用の説明として、次の文の空欄に適切な語を入れよ。

エクジソンは 動物の甲殻類や 類などの や を誘導するホルモンである。

問 2 リンネ式階層分類体系で、問 1 の a, b それぞれの分類階級名を答えよ。

問 3 下線①の、植物がエクジソンを合成する生物学的意味はどのように考えられるか。昆虫の食性と生活環を考慮して 50 字以内で説明せよ。

問 4 寄生バチの幼虫は羽化までは、植食昆虫の幼虫に寄生している状態である。宿主が幼虫の時期を過ぎると、寄生バチは宿主の表皮を食い破ることが出来ないことを考慮して、寄生バチの幼虫が下線②の宿主幼虫の生理を調節することの具体的内容について、次の文の空欄を埋めなさい(7 字以内)。

寄生バチ自身の羽化までは、宿主を こと。

問 5 植食昆虫、寄生バチ、植物の 3 者の共進化の結果、下線③のように「幼虫に食害されつつあるとき、寄生バチを誘引する物質を出す植物種と出さない植物種とに分かれた」と考えられる。食害される植物にそのような違いを生んだと考えられる理由を推察し、「幼虫期間」という語を用いて 70 字以内で説明せよ。