

令和3年度医学科入学試験問題

生 物

〔注意事項〕

- 1 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけない。
- 2 解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入すること。
- 3 この問題冊子の本文は、8ページからなっている。落丁、乱丁及び印刷不鮮明な箇所等があれば、手をあげて監督者に知らせること。
- 4 この問題冊子の白紙と余白は、適宜下書きに使用してもよい。
- 5 解答は、すべて別紙「解答用紙」の指定された場所に記入すること。
- 6 この問題冊子は持ち帰ること。

1 次の文を読み以下の設問に答えよ。

ニワトリの足が発生する過程では、図1に示すように足の原基に、将来指となる組織(1～4)と指の間の組織(指間組織①～④)に違いが生じる。1～4には軟骨が形成される。指間組織は発生(1)の早い時期には存在しているが、発生が進むにつれて細胞が死ぬこと(1)によって消失する。指がどのようにして形成されるのかを調べるため、発生(1)の早い時期に以下のような実験を行った。

実験1 指間組織②あるいは③を除去した結果、図2に示すように指2あるいは指3になるはずの組織がそれぞれ指1、指2へと変化した。

実験2 指3になるはずの組織を指間組織②に移植した結果、図3に示すように移植した指の組織は指2を形成した。

実験3 指間組織から分泌される物質Xを指間組織②に注入した結果、図4に示すように指2になるはずの組織が指3へと変化した。

実験4 ある物質Yを指間組織②あるいは③に注入した結果、図5に示すように指2、指3になるはずの組織がそれぞれ指1、指2へと変化した。

実験5 物質XとYをともに指間組織②に注入した結果、指のかたちに変化は生じなかった。

1. 下線部(1)について、細胞自身に備わった細胞死を引き起こすしくみを何と呼ぶか、名称を答えよ。
2. 実験1～3の結果から、それぞれの指に特有のかたちが形成されるとき指間組織のはたらきについてどのようなことが言えるか、物質Xのはたらきをふまえて説明せよ。

3. 実験3～5の結果から、物質Yはどのように作用したと考えられるか。

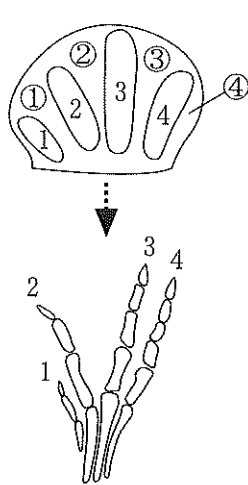


図1 ニワトリの右足の正常な発生
1はヒトの親指に相当する。

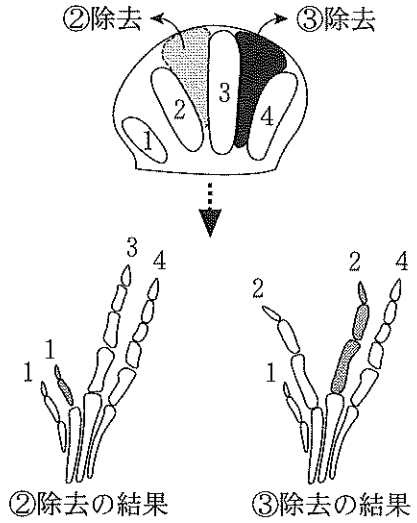


図2 実験1の手順と結果

指3になるはずの組織 物質Xを注入した場所

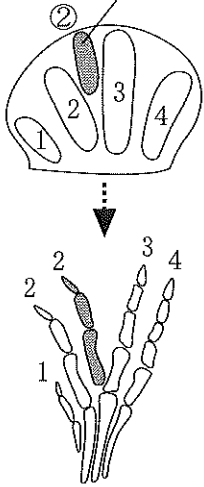


図3 実験2の手順
と結果

物質Xを注入した場所

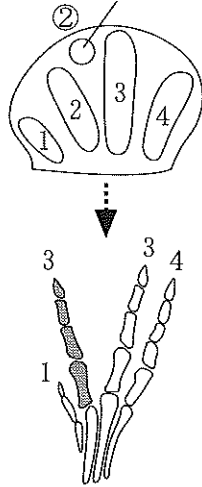


図4 実験3の手順
と結果

物質Yを注入した場所

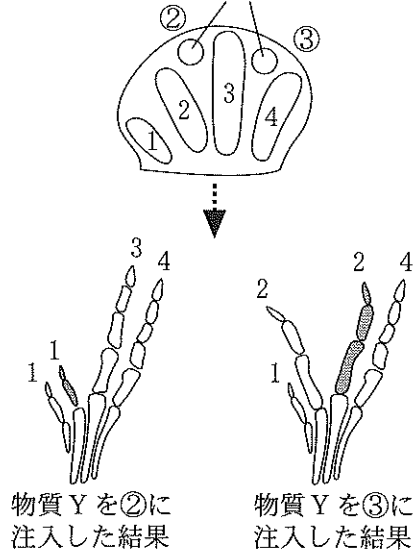


図5 実験4の手順
と結果

2 次の文を読み以下の設問に答えよ。

嗅覚は、におい物質がにおい物質結合タンパク質(嗅覚受容体)に結合して引き起こされる感覚である。嗅覚受容体は、嗅上皮にある嗅細胞から伸びている繊毛の表面にある。繊毛は外界に向かって伸びているが、粘液でおおわれている。粘液の中のイオン組成は、水中であれば外界の水のイオン組成とほぼ同じである。

におい物質の多くは低分子化合物であり、図1に示すように複数の嗅覚受容体に結合できるものがある。⁽¹⁾におい物質の種類は10万とも100万とも言われている。一方、嗅覚受容体の遺伝子の数は、ネズミで約1000、ヒトでは約400、魚類や両生類では数十から200くらいである。嗅細胞はヒトでは数百万あるといわれているが、一つの嗅細胞には一種類の受容体しかない。

におい物質が嗅覚受容体に結合すると、イオンチャネルが開いてイオンの流れが生じて脱分極が起こり、これを受容器電位とよぶ。受容器電位は嗅細胞自身に活動電位を誘発させ、嗅細胞はにおいの情報を脳に伝える。⁽²⁾⁽³⁾

1. 下線部(1)に関して、嗅覚受容体の種類は少ないにもかかわらず、非常に多くの種類のにおい物質を識別する仕組みについて、図1を参考にして説明せよ。
2. 下線部(2)に関して、静止電位は細胞外に対して -70 mV 程度である。神経細胞では、このような静止電位のもとではカリウムチャネルが開いているにもかかわらず、 K^+ のみかけ上の流出や流入といった動きはない。一方、活動電位の発生過程で膜電位が逆転し細胞内がプラスになった状態でさらにカリウムチャネルが開くと、 K^+ は細胞外にいっせいに流出する。静止電位の際には、 K^+ は細胞内の濃度が高いにもかかわらず、なぜみかけ上の動きはないのか説明せよ。
3. 下線部(3)に関して、味覚や聴覚における感覚情報の脳への伝わり方は、嗅覚における伝わり方とどのように違うか説明せよ。

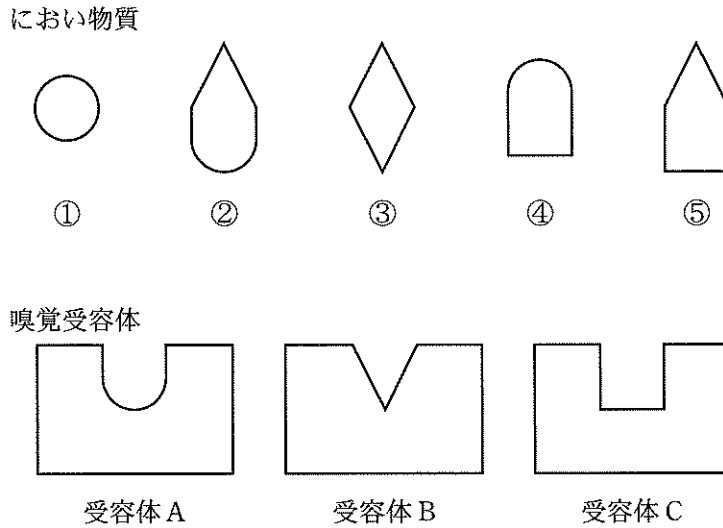


図1 におい物質と嗅覚受容体

例えば、におい物質①は受容体 A にのみ結合できるが、
②は受容体 A と B に結合できる。

受容器電位を発生させるためのイオンチャネルは繊毛に存在している。嗅細胞では、におい物質が嗅覚受容体に結合すると、Gタンパク質を介してイオンチャネルが開き、 Na^+ や Ca^{2+} が入って受容器電位が発生する。さらに、 Ca^{2+} は Cl^- に対するイオンチャネルを開かせる。嗅細胞は、他の細胞と比べて細胞内の Cl^- の濃度が高くなっており、外界のイオン組成によっては Cl^- が細胞外に流出して脱分極を引き起こし、受容器電位の発生に関わる。

4. 下線部(4)の現象は、淡水に生息する魚にとっては非常に重要であると考えられている。表1をもとに、その理由を考えて説明せよ。

表1 魚の嗅細胞内と淡水中のイオン濃度の比較

イオン	嗅細胞内の濃度との比較
Na^+	嗅細胞 > 淡水
Cl^-	嗅細胞 > 淡水
Ca^{2+}	嗅細胞 < 淡水
K^+	嗅細胞 > 淡水

3 次の文を読み以下の設問に答えよ。

生体を形づくる組織は、多くの細胞が互いに接着することで構築されている。代表的な細胞接着分子としてカドヘリンが知られている。カドヘリンには、E-カドヘリンやP-カドヘリンなど、さまざまな種類が存在する。細胞間の接着におけるカドヘリンの性質を調べるため、カドヘリンを持たず細胞同士で接着することができない培養細胞(NA細胞)を用いて以下の実験を行った。

実験1 NA細胞にE-カドヘリンの遺伝子を導入し、人工的に発現させたところ、細胞同士で接着するようになった。同様にP-カドヘリンの遺伝子を導入し、人工的に発現させたところ、細胞同士で接着するようになった。

実験2 実験1で用いたE-カドヘリンを発現させたNA細胞を培養し、細胞塊を形成させた。培養環境から Ca^{2+} を除去すると、細胞間の接着は非常に弱くなった。次に、 Ca^{2+} が除去された条件でタンパク質分解酵素による処理をすると、細胞同士は接着できなくなった。

実験3 実験1で用いたE-カドヘリンを発現させたNA細胞を培養し、細胞塊を形成させた。この細胞塊を Ca^{2+} の存在下でタンパク質分解酵素による処理を行ったが、実験2とは異なり細胞間の接着に変化はなかった。

実験4 E-カドヘリンを発現させたNA細胞とP-カドヘリンを発現させたNA細胞を混合して培養した。その結果、E-カドヘリンを発現する細胞同士、P-カドヘリンを発現する細胞同士がそれぞれ接着し、細胞塊を形成した。

実験5 実験2で用いたE-カドヘリンを人工的に発現させて形成させた細胞塊を、E-カドヘリンに特異的に結合する抗体で処理したところ、細胞接着を維持することができなくなった。

1. 実験1～3の結果から、カドヘリンの立体構造と接着に Ca^{2+} がどのように関わっていると考えられるか説明せよ。なお、 Ca^{2+} の有無はタンパク質分解酵素の活性には影響しないものとする。
2. 実験4から、カドヘリンを介した細胞同士の接着にはどのような特徴があると考えられるか説明せよ。
3. カドヘリンが持つ機能は、脊椎動物の発生に重要な役割を担っていることが知られている。神経板の周辺部で隆起する部分(神経しゅう)に発現するカドヘリンには、神経管形成過程においてどのような役割があるか説明せよ。
4. 実験5において、細胞接着が維持できなくなった理由を考えて説明せよ。

4 次の文を読み以下の設問に答えよ。

植物の光合成において、取り込んだ CO_2 をリブローズビスリン酸と反応させて固定する経路や、取り込んだ CO_2 をホスホエノールピルビン酸と反応させて固定し、 C_4 化合物であるリンゴ酸としてたくわえる経路があることが知られている。植物 A および B がどちらの経路を使っているかを調べるため、以下の実験を行った。

実験 1 植物 A を 12 時間ごとの明暗周期で栽培し、24 時間の CO_2 の取り込み量、開いている気孔の割合、および細胞内のリンゴ酸濃度を調べたところ、それぞれ図 1 のようになった。

実験 2 植物 B を 12 時間ごとの明暗周期で栽培し、24 時間の CO_2 の取り込み量、および細胞内のリンゴ酸濃度について調べたところ、図 2 のようになった。

実験 3 植物 B を 12 時間ごとの明暗周期で、一定期間水のない条件(ストレス条件)で栽培した。この状態で 24 時間の CO_2 の取り込み量、および細胞内のリンゴ酸濃度について調べたところ、図 3 のようになった。

1. 下線部(1)に関して、 CO_2 をリブローズビスリン酸と反応させて固定する酵素の名称を答えよ。
2. 植物 A は下線部(1)、(2)のどちらの経路を使って CO_2 を固定していると考えられるか番号で答えよ。また、図 1 の①および②の時間帯には、それぞれどのような反応が起こっているか答えよ。
3. 実験 2 の条件では、植物 B は下線部(1)、(2)のどちらの経路によって CO_2 を固定していると考えられるか番号で答えよ。またそう考えた理由を説明せよ。

4. 実験3の条件では、植物Bは下線部(1), (2)のどちらの経路によってCO₂を固定していると考えられるか番号で答えよ。またそう考えた理由を説明せよ。

5. 実験3で見られるような光合成の反応は、植物Bの生育にとってどのような利点があると考えられるか。

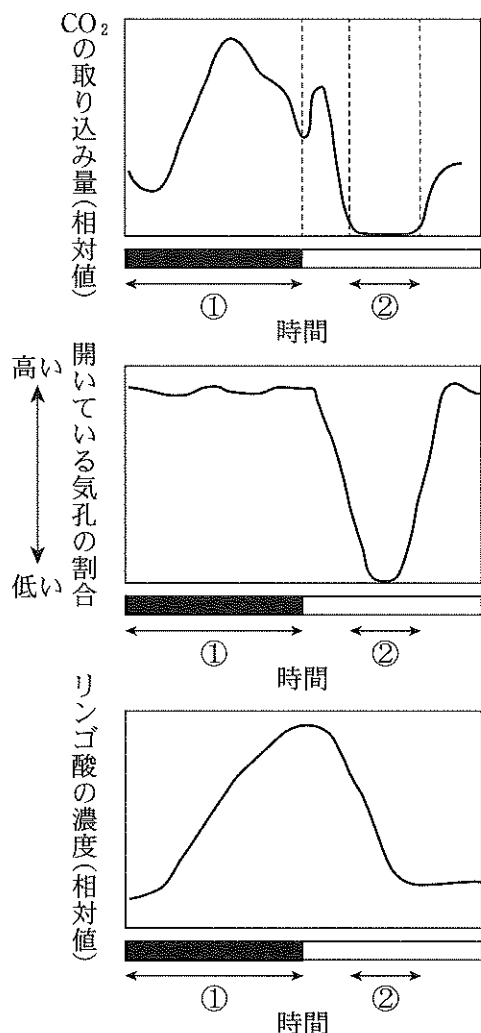


図1 植物Aの状態の変化
黒棒は暗期を、白棒は明期を示す。

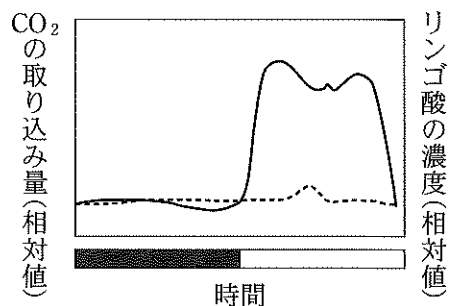


図2 植物Bの状態の変化
実線はCO₂の取り込み量を、破線はリンゴ酸の濃度を示す。黒棒は暗期を、白棒は明期を示す。

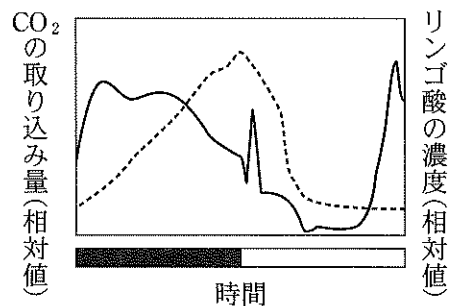


図3 ストレス条件下での植物Bの状態の変化
実線はCO₂の取り込み量を、破線はリンゴ酸の濃度を示す。黒棒は暗期を、白棒は明期を示す。