

F 3 物理 F 4 化学 F 5 生物

この冊子は、**物理**，**化学** および **生物** の問題を 1 冊にまとめてあります。

電子応用工学科は物理指定

材料工学科は、物理または化学のどちらかを選択

生物工学科は、物理・化学・生物のいずれかを選択

物理の問題は、1 ページより 18 ページまであります。
化学の問題は、19 ページより 38 ページまであります。
生物の問題は、39 ページより 70 ページまであります。

〔注 意〕

- (1) 試験開始の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
- (2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら、解答用紙に志望学科と受験番号を記入してください。また、解答用マークシートには受験番号と氏名を記入し、さらに受験番号と志望学科をマークしてください。
- (3) 解答は、所定の解答用紙に記入したもの及び解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。
- (4) 解答用マークシートについて
 - ① 解答用マークシートは、絶対に折り曲げてはいけません。
 - ② マークには黒鉛筆(HBまたはB)を使用してください。指定の黒鉛筆以外でマークした場合、採点できないことがあります。
 - ③ 誤ってマークした場合は、消しゴムで丁寧に消し、消しくずを完全に取り除いたうえで、新たにマークしてください。
 - ④ 解答欄のマークは、横 1 行について 1 箇所に限ります。2 箇所以上マークすると採点されません。あいまいなマークは無効となるので、はっきりマークしてください。
 - ⑤ 解答用マークシート上部に記載されている解答上の注意事項を、必ず読んでから解答してください。
- (5) 試験開始の指示があったら、初めに問題冊子のページ数を確認してください。ページの落丁・乱丁、印刷不鮮明等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- (6) 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

生 物

〔注意〕 計算に必要な場合は、次の値を用いなさい。

元素記号	H	C	N	O
原子量	1.00	12.0	14.0	16.0

- 1 遺伝子工学を用いたペプチドホルモンの大腸菌における発現に関する次の設問に答えなさい。(33点)

(1) 多くのホルモンのうち、インスリンやヒト成長ホルモンは、ペプチドホルモンに分類される。タンパク質は、20種のアミノ酸の中から1個1個が、特定の配列順序で、数十個から数百個連結したポリペプチドである。アミノ酸の配列順序は、(a) とよばれ、細胞内で合成された順に番号が付され、記述されるのが通例である。

20種のアミノ酸はそれぞれ性質が異なり、でき上がったタンパク質の鎖は、そのタンパク質に固有な立体的な形をつくる。ペプチドの伸長方向にある近接のアミノ酸の間の水素結合によって形成されるらせん構造や、ポリペプチド鎖が部分的に伸びた形で複数本平行に並んで、水素結合により安定化される(b)などの部分構造が、立体構造形成のもととなる。これらの(c)の形成に伴って、(a)上は遠くても、立体的に近い位置にくるアミノ酸の側鎖間の水素結合、水との親和性が低いアミノ酸やらせん構造間に働く疎水結合、さらには正負の電荷の働きによる(d)など種々の安定化力が加わり、ある決まった立体構造が作り上げられる。タンパク質種によっては、(a)上では離れた位置にあるアミノ酸の一種である(e)が互いに立体構造的に近づいてS-S結合ができ、これも構造形成に寄与する。(a)が決定された最初のタンパク質はインスリンであるが、そのA鎖とB鎖とよばれる2つのポリペプチド分子間にある2つのS-S結合は、その一例である。

前記の文章の空欄を埋めるのに最も適している語句を解答群 1 から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、同じ語句を複数回選択してもかまわない。

解答群 1

- | | | |
|----------|---------|---------|
| ① 一本鎖構造 | ① 二本鎖構造 | ② 一次構造 |
| ③ 二次構造 | ④ 三次構造 | ⑤ 四次構造 |
| ⑥ ジグザグ構造 | ⑦ 無秩序構造 | ⑧ セリン |
| ⑨ メチオニン | ⑩ シスチン | ⑪ システイン |
| ⑫ イオン結合 | ⑬ リン酸結合 | ⑭ 水素結合 |

(2) 以下の記述をもとに、各設問に答えなさい。

活性をもつ成熟型ヒト成長ホルモンは、メチオニンから始まる前駆体ホルモンのうち、先頭から 26 アミノ酸配列部分(シグナル配列)が切りとられた 191 個のアミノ酸からなるタンパク質であり、アミノ酸配列の 53-165 の間および 182-189 の間に、2 つの S-S 結合が存在する。脳下垂体で産生され、成長と発育などを制御している。生まれつき成長ホルモンを欠損している子供は、正常な身長に達しない。このような場合、定期的な成長ホルモンの投与は成長を促進し、正常に近い身長になる。インスリンの場合と違って、他の動物から得られた成長ホルモンは効果がない。そこで、遺伝子組換えでつくられたヒト成長ホルモンは、特に重要な医薬のひとつである。

ヒト成長ホルモン(以下 HGH と記す)の細菌をもちいた生産は、初期の頃は以下の手順で行なわれた。ヒト前駆体ホルモン中にあるシグナル配列は細菌でつくる場合には不要である。そこで、天然の HGH のアミノ末端側の配列をコードする(遺伝子暗号をのせた)ヌクレオチド配列を、化学的に合成したオリゴヌクレオチド(合成 DNA 断片)と取換えることにより、活性をもつ成熟型タンパク質を細菌で生産できるようにした。

HGH の大腸菌による生産の方法 (Goeddel らの方法を改変) ;

- ① 成熟型 HGH をコードする遺伝子配列を参考として、合成オリゴヌクレオチドと HGH の cDNA を用い、遺伝子操作法を駆使して組換え遺伝子をつくった。なお、cDNA とは、天然の mRNA を鋳型として、mRNA から DNA を合成できる酵素によって合成された mRNA と相補性をもつ DNA 鎖であり、この場合は二本鎖 DNA である。

この組換え HGH 遺伝子の構造を図 1 に示した。組換え HGH 遺伝子は、アミノ酸配列 1 ~ 191 をコードするヌクレオチド配列 (以下、HGH 1-191) に加えて、その前方 (上流) と後方 (下流) にそれぞれ非翻訳ヌクレオチド配列をもつ。前方のヌクレオチド配列には、開始コドンを含む 6 塩基対 (bp) と末端に制限酵素 *EcoRI* で切断された配列断片が含まれる。一方、下流のヌクレオチド配列には、終止コドンを含む 15 bp と末端に制限酵素 *EcoRI* で切断された配列断片が含まれる。

- ② もちいた発現ベクターであるプラスミド P (図 1) は、唯一の制限酵素 *EcoRI* の切断部位をもつので、この制限酵素で切断し、^(b) プラスミド Q を得た。これに組換え HGH 遺伝子を DNA リガーゼを用いて連結し、HGH 遺伝子が組込まれた発現プラスミド (プラスミド R) の作成を試みた。このプラスミドの制限酵素 *EcoRI* 切断部位のすぐ前には転写に必要なプロモーターがある。また、このプラスミドは、アンピシリン耐性遺伝子 (*Amp^R*) をもっている。これが働くとこの遺伝子をもつ大腸菌は、抗生物質であるアンピシリン耐性となり、これを含む培地で生育できる。
- ③ 次いで、上記の連結反応の生成物を用いて大腸菌細胞を形質転換し、^(c) アンピシリンを含む培地で培養した。なお、形質転換とは細胞外部から DNA を導入し、その遺伝的性質を変えることをいう。
- ④ 計画通りに形質転換された大腸菌を選択し、大量に培養した。この大腸菌の細胞抽出物から HGH タンパク質を分離・精製した。精製の各段階においては、^(d) 電気泳動法を用いて精製の度合いを確かめた。最終的に活性を測定した。

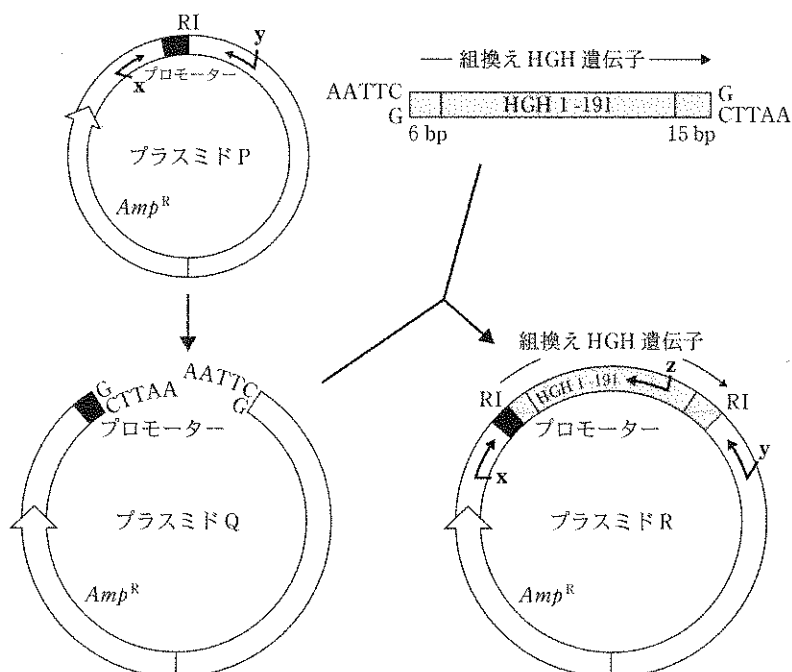


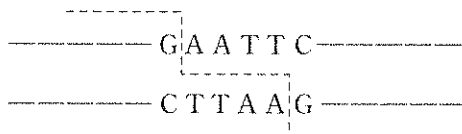
図1 HGH の生産にもちいたプラスミドの設計と作成の概略

化学的に合成したオリゴヌクレオチド(合成 DNA 断片)および HGH の cDNA をもちいて組換え HGH 遺伝子(図の右上)を作成した。これを、プラスミド P を制限酵素 *Eco*RI で切断して得られたプラスミド Q のプロモーター(■)の後(下流)に挿入し、プラスミド R の作成を行なった。なお、*Amp^R* はアンピシリン耐性遺伝子であり、転写の方向は矢印で示した。RI は *Eco*RI の認識配列部位を示す。なお組換え HGH 遺伝子の図中の bp は、塩基対の数を表す単位である。また、HGH 1-191 は HGH の 1 から 191 番目までのアミノ酸をコードする DNA である。プラスミド R のヌクレオチド配列に沿った矢印 **x**, **y**, **z** は、後述の PCR にもちいた 3 つのプライマーのおおよその位置とその伸長方向を示す。なお、それぞれのプライマーは図に示す部分以外とは相補的な結合は生じない。

- (A) 下線部(a)の、成熟型ヒト成長ホルモン(HGH)の全配列をコードする DNA の塩基対(bp)の数はいくらか。なお、終止コドンは含めない。最も適切な数値を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。解答値が1桁の場合は十、百、千の位に0を、2桁の場合は百、千の位に0を、3桁の場合は千の位に0を入れなさい。

千の位	百の位	十の位	一の位

- (B) 下線部(b)の、制限酵素 *EcoRI* は、塩基配列のうち GAATTC を正確に認識し、下のように G と A の間を切断する。なお、切断され、切り離された部分を配列断片と表現する。



ある高等真核生物の全 DNA の塩基組成を分析したところ、アデニンが 30.0 % であった。仮にこの生物の DNA の塩基配列が無秩序(ランダム)であるとする、制限酵素 *EcoRI* の認識配列が出現する確率は、何塩基あたり1個であると考えられるか。最も適切な数値を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。解答にあたっては一の位は四捨五入しなさい。解答値が2桁の場合は百、千の位に0を、3桁の場合は千の位に0を入れなさい。

千の位	百の位	十の位	一の位
			0

(C) 大腸菌を、下線部(c)に記した形質転換の操作を行なっても、すべての大腸菌が計画通りにプラスミドを取り込むのではない。少なくとも次の4種の大腸菌が存在する可能性が考えられる。

大腸菌① プラスミドを取り込んでいない。

大腸菌② HGH の遺伝子が組み込まれなかったプラスミドを取り込んでいる。

大腸菌③ 計画通りに、HGH の遺伝子が転写の順方向に組み込まれたプラスミドを取り込んでいる。

大腸菌④ HGH の遺伝子が転写の逆方向に組み込まれたプラスミドを取り込んでいる。

これらの大腸菌を判別するのに次の二つの方法を採用した。

(ア) 大腸菌が HGH を産生できるか、およびアンピシリン耐性をもつかを調べた。はじめに大腸菌を寒天培地で培養した。生育したコロニー(1個の細菌の分裂・増殖によってできた集落)から大腸菌をかきとり、それぞれ液体培地を用いて培養した。これらの菌について HGH 産生の有無およびアンピシリン耐性の有無を調べ、大腸菌①～④のいずれであるかを判別した。表中の空欄(a)～(h)に、HGH 産生あるいはアンピシリン耐性が有ると考えられる場合には①を、無いと考えられる場合には②を選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

	大腸菌①	大腸菌②	大腸菌③	大腸菌④
HGH の産生	(a)	(b)	(c)	(d)
アンピシリン耐性	(e)	(f)	(g)	(h)

(イ) 大腸菌にどのような DNA が含まれているかを調べ、大腸菌①～④のいずれであるかの判別を行なった。はじめに、上記(ア)と同様に菌体を集め、それぞれ DNA を抽出した。PCR 法をもちいてこれらの DNA の一部分を増幅し、得られた DNA を寒天ゲル電気泳動法で分離した。寒天ゲル中のウエル(溝)に DNA 断片を沈め、寒天ゲルの両端にある電極間に電圧をかけると、塩基対の数の少ない DNA 断片は、多い断片より速く移動する。電気泳動後は、DNA 断片が帯(バンド)として検出できる。塩基対(bp)の数が既知の DNA 断片の移動距離を基準にして、それぞれの大腸菌から増幅された DNA 断片のおおよその長さを知ることができる。ただし、この方法では 10 bp 以下の違いは判別できない。

[PCR 法のプライマーの配列の表示法]：

図 1 に示したプラスミド P の配列をもとに、プライマー x とプライマー y を設定した。制限酵素 *Eco*RI の認識配列の中央部位を出発点とし、それより前方(上流)は- (マイナス)を、後方(下流)は+ (プラス)を付して表示した。

プライマー x (矢印 x) は、プラスミド P の - 40 ~ - 20 配列である。

プライマー y (矢印 y) は、プラスミド P の + 30 ~ + 10 配列である。

一方、HGH をコードする DNA のヌクレオチド配列上に設定したプライマー z (プラスミド R 上の矢印 z) は、便宜上その位置をアミノ酸配列の番号で表示しているが、120-131 番目のアミノ酸配列に対応する DNA 配列である。

[2 つの PCR に用いた各 2 つのプライマーの組み合わせ]：

反応 I：プライマー x とプライマー y

反応 II：プライマー x とプライマー z

反応Ⅰおよび反応Ⅱの PCR の結果として、大腸菌①～④より検出される DNA 断片のおおよその大きさ (bp) はいくらか。下表の空欄(a)～(h)を埋めるのに最も近い値を解答群 2 から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄に記入しなさい。なお、同じ値を複数回選択してもよい。また、DNA 断片が検出されない場合は、「①なし」にマークしなさい。

	大腸菌①	大腸菌②	大腸菌③	大腸菌④
反応Ⅰ	(a)	(b)	(c)	(d)
反応Ⅱ	(e)	(f)	(g)	(h)

解答群 2

- | | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| ① なし | ① 40 bp | ② 70 bp | ③ 100 bp |
| ④ 230 bp | ⑤ 440 bp | ⑥ 640 bp | ⑦ 670 bp |

(D) 分離・精製の過程にあるタンパク質がどの程度精製されたかを調べたり、あるいは目的のタンパク質のおおよその分子量を推定する手法のひとつとして下線部(d)の電気泳動法がある。この手法では、タンパク質に強固に結合してその立体構造をこわす試薬と、S-S結合を切断する試薬を同時に用いて処理し、タンパク質が鎖状に伸びた状態にする。このタンパク質をゲル電気泳動法で分離すると、その大きさを反映して分かれる。図2は、分子量が(a)75,000, (b)40,000, (c)16,000, (d)12,000の4種類のタンパク質(標準タンパク質)と、分離・精製したHGHを同じゲルを用いた電気泳動で分離し、染色した結果である。それぞれのバンドは、それぞれのタンパク質を示す。この電気泳動法では、分子量が小さなタンパク質は速く、大きなタンパク質はゆっくりと移動する。

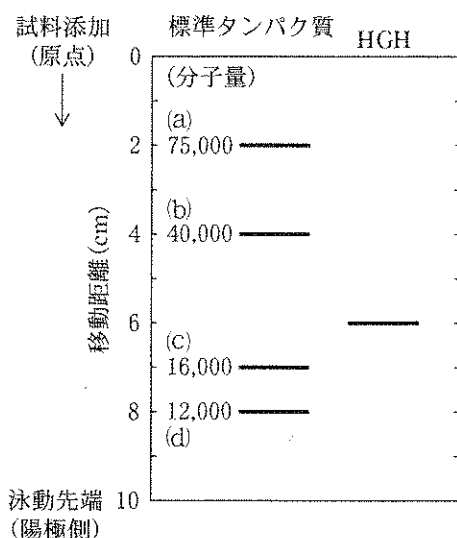


図2 電気泳動の結果

縦軸は試料を添加した原点(0)からの移動距離(cm)を表示する。

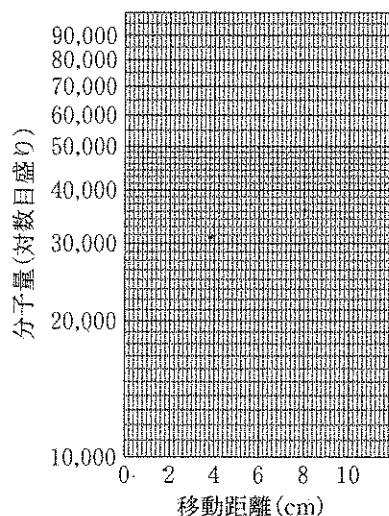


図3 分子量と移動距離との関係

横軸は移動距離(cm)を、縦軸は分子量を対数目盛りで表示する。

(ア) 上記の記述および図2をもとに、各タンパク質の移動距離と分子量との関係を示すグラフを図3に描きなさい。図3のグラフは、横軸に移動距離(cm)を、縦軸に分子量を対数目盛りで表示してある。各標準タンパク質を、移動距離と分子量を反映したグラフ上の位置に、それらの名称((a)~(d))を記して白丸(○)で表示(プロット)しなさい。さらに、それらの各点を結ぶように直線を引きなさい。一方、HGHについては、得られた直線上に同様に黒丸(●)で表示しなさい。解答は、**解答用紙**に記入しなさい。

(イ) 図2および図3の電気泳動の結果から推定されるHGHの分子量はいくらか。推定される分子量を、**解答用マークシート**の指定された欄に記入しなさい。解答値は、百の位以下の数は切り捨てなさい。解答値が4桁の場合は、万の位に0を入れなさい。

万の位	千の位	
		0 0 0

(ウ) 上記(イ)で推定したHGHの分子量をもとに計算すると、HGHを構成する各アミノ酸の分子量の平均値はいくらか。解答値を**解答用マークシート**の指定された欄に記入しなさい。解答値は、一の位を四捨五入しなさい。解答値の百の位が0の場合には百の位に0を入れなさい。

百の位	十の位	
		0

2 ヒトの細胞膜に関する以下の文章を読み、設問に答えなさい。(33 点)

- (1) 以下の文章の空欄 (ア) から (オ) にあてはまる最も適切な語句を解答群 Aの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

ヒトの細胞は、細胞質の外側を細胞膜により囲まれている。細胞膜は脂質とタンパク質が集合してできる構造体である。脂質分子は (ア) 部分と (イ) 部分を分子内にあわせ持つ。脂質分子の (ア) 部分が水に接するように、 (イ) 部分が水を避けて互いに接するように並ぶため、生体内で二重層構造を形成する。膜タンパク質は、脂質二重層に埋め込まれるように結合していて、脂質分子とともに流動性を示す。

細胞膜は特定の物質を通過させる性質をもつ。細胞膜がもつこのような性質を選択的 (ウ) という。選択的 (ウ) を示す細胞膜には、エネルギーを用いて物質を輸送するしくみとエネルギーを用いないで物質を輸送するしくみがある。細胞の内外で目的物質の濃度に差がある場合、エネルギーを用いるしくみでは、 (エ) 側から (オ) 側へ目的物質の積極的な移動が起こる。これに対して、エネルギーを用いないしくみでは (オ) 側から (エ) 側へ目的物質の自然な移動が起こる。このような物質移動の多くは、細胞膜に埋め込まれた「輸送タンパク質」により行われる。

解答群 A

- | | | |
|---------|--------|----------|
| ①① モザイク | ①② 半透性 | ①③ 原形質流動 |
| ①④ 親水性 | ①⑤ 分離 | ①⑥ 疎水性 |
| ①⑦ 高張 | ①⑧ 透過性 | ①⑨ 低張 |
| ①⑩ 吸水性 | ①⑪ 等張 | ①⑫ 排水 |
| ①⑬ 高濃度 | ①⑭ 低濃度 | ①⑮ 等濃度 |

(2) 多くの細胞は、 Na^+ や K^+ のような陽イオンだけを輸送するイオン輸送タンパク質の他に、 HCO_3^- (炭酸水素イオン) や Cl^- (塩素イオン) のような陰イオンだけを輸送するイオン輸送タンパク質をもっている。例えば、赤血球は、細胞の内側と外側にある HCO_3^- と Cl^- を同時に輸送する陰イオン輸送タンパク質をもっている(図1)。この輸送タンパク質は、 HCO_3^- をどちらの方向(細胞内から細胞外あるいは、細胞外から細胞内)にも輸送することができ、 HCO_3^- が一方向に輸送されると、それとは逆方向に Cl^- が輸送される。

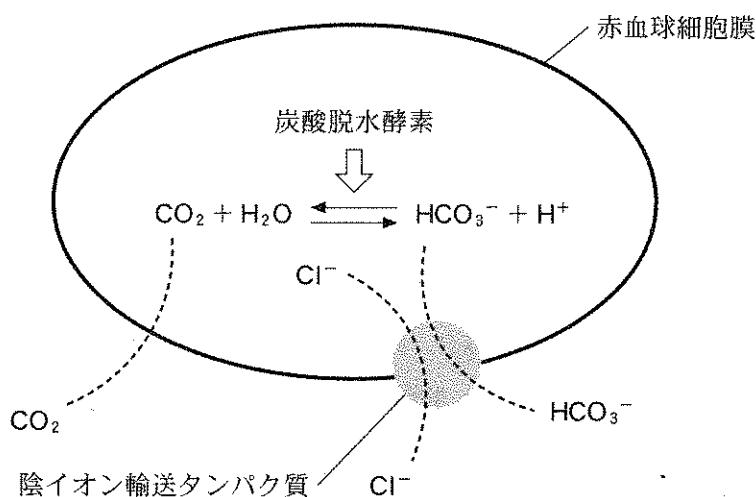


図1 赤血球における陰イオンと二酸化炭素の輸送
陰イオンと CO_2 の移動は破線で示されている。炭酸脱水酵素による反応は、両方向に進むことが可能である。

肺胞以外の組織の細胞で生じた CO_2 (二酸化炭素) は、拡散により毛細血管内の赤血球内に入る。すると、赤血球内に入った CO_2 の大部分は、この中に豊富に存在する炭酸脱水酵素の作用により水溶性の高い HCO_3^- に変換される。この酵素は CO_2 から HCO_3^- への変換、逆に HCO_3^- から CO_2 への変換を促進する。炭酸脱水酵素により生成した HCO_3^- は、陰イオン輸送タンパク質により血しょう中に排出され、反対に血しょう中にある Cl^- が赤血球内に輸送される。このような一連の反応の結果、血液中のほとんどの CO_2 は、 HCO_3^- の形で血しょう中に溶け込む。そして溶けた HCO_3^- は、組織から肺へ血液の循環により運ばれる。

HCO_3^- を大量に含む血液が肺胞に到着すると、赤血球では HCO_3^- と CO_2 の移動が組織の血液中とは反対方向におこる。このため、血液中の HCO_3^- は CO_2 に戻されて体外に放出されることになる。

- (a) 健康なヒトの肺胞と肺胞以外の組織において、陰イオン輸送タンパク質と炭酸脱水酵素が働く場合、図1の赤血球膜をはさんだ CO_2 と HCO_3^- の移動はどのようになるか。肺胞と肺胞以外の組織における移動について、最も適切な記述を解答群Bの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、同じ番号を複数回選択してもよい。

	CO_2	HCO_3^-
肺胞	(ア)	(イ)
肺胞以外の組織	(ウ)	(エ)

解答群B

- ① 赤血球の細胞外から細胞内へ動く
- ① 赤血球の細胞内から細胞外へ動く
- ② 見かけ上動かない

- (b) 赤血球の陰イオン輸送タンパク質は、赤血球が組織あるいは肺胞のどちらの毛細血管にある時でも、 HCO_3^- を受動輸送することが知られている。赤血球の陰イオン輸送タンパク質で HCO_3^- の受動輸送がおこるためには、赤血球における HCO_3^- の濃度勾配が生じる必要がある。このときの HCO_3^- の濃度は赤血球の細胞の内外でどのようなになっていると考えられるか。最も適切なものを解答群Cの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。ただし、血しょう中には常に HCO_3^- が含まれているとする。なお、同じ番号を選択してもよい。

肺胞の毛細血管における血液中の赤血球：

肺胞以外の組織の毛細血管における血液中の赤血球：

解答群C

- ① 赤血球の細胞外の方が細胞内より高い
 - ① 赤血球の細胞内の方が細胞外より高い
 - ② 赤血球の細胞外と細胞内は同じ
- (c) 有酸素運動している場合、肺胞と筋組織では赤血球の陰イオン輸送タンパク質による HCO_3^- の輸送速度(単位時間あたりの輸送量)は、運動していない安静時と比較してそれぞれどのようなになると考えられるか。最も適切な語句を解答群Dの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、同じ番号を選択してもよい。

肺胞：

筋組織：

解答群D

- ① 増加
- ① 減少
- ② 変化なし

(3) 小腸や腎臓の尿細管、胃内部の上皮組織には、他の細胞に比べていろいろな種類のイオン輸送タンパク質の存在が知られている。胃内部の表面には、多数の小さなくぼみがある。食物が胃に入ると、このくぼみにある胃粘膜壁細胞(胃壁細胞)から塩酸(HCl)を含む胃液が分泌される。この結果、胃内部は、強酸性(約pH 1～2)の環境になる。

胃壁細胞の胃内部側の細胞膜には、 $H^+ - K^+$ ATPアーゼと呼ばれるプロトンポンプが存在する。このポンプは、ATPの加水分解により得たエネルギーを使って、一個の K^+ を胃壁細胞内に取り込むと同時に、一個の H^+ を胃内部に排出する。プロトンポンプによる輸送と同時に、血管側細胞膜に存在する陰イオン輸送タンパク質と胃内部側の細胞膜に存在するイオンチャネルによる輸送も行われる。そのため、 H^+ と K^+ だけでなく、 Cl^- と HCO_3^- も細胞膜を通過して移動する(図2)。このようにいろいろなイオン輸送タンパク質が協調して働くことにより、^(X)胃壁細胞の細胞内は中性に保たれる。

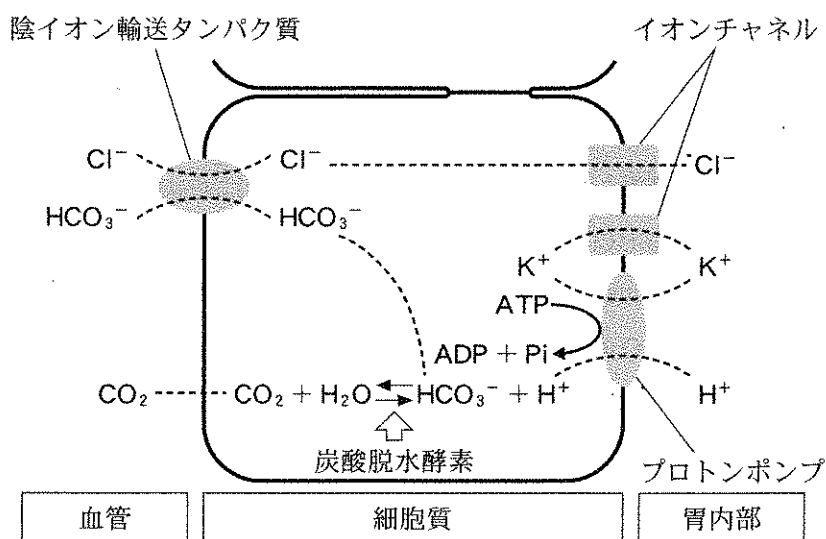


図2 胃壁細胞におけるイオンの動き

各種イオンと CO_2 の移動は破線で示されている。Piはリン酸を表す。

- (a) 下線部(X)について、図2は胃壁細胞内で H^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- が動くようすを表している。これらのイオンを運ぶ輸送タンパク質が協調して働くため、胃壁細胞は胃内部に塩酸を分泌しても、細胞内の H^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- の濃度は、一定に保たれる。

K^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- が一定に保たれるためには、図2において細胞膜を挟んだイオンの移動は、それぞれどのようなになるか。下記の空欄
[ア] ~ [エ] にあてはまる最も適切な記述を解答群Eの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、同じ番号を複数回選択してもよい。

陰イオン輸送タンパク質における HCO_3^- の移動： [ア]

陰イオン輸送タンパク質における Cl^- の移動： [イ]

イオンチャネルにおける K^+ の移動： [ウ]

イオンチャネルにおける Cl^- の移動： [エ]

解答群E

- ① 胃壁細胞の外側から内側へ動く
 - ① 胃壁細胞の内側から外側へ動く
 - ② 見かけ上動かない
- (b) 胃壁細胞においてプロトンポンプの調節機構が異常であると、胃酸が分泌されすぎて胃潰瘍(いかいよう)と呼ばれる病気になることがある。胃潰瘍を防ぐようなプロトンポンプの活性だけを特異的に阻害する物質は、薬として有用である。

プロトンポンプの働きを阻害剤によって抑制する場合、イオンチャネルにおける K^+ と Cl^- の輸送量は、阻害剤で抑制しない場合と比べて、それぞれどのようになると考えられるか。最も適切な語句を解答群Fの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。ただし、同じ番号を選択してもよい。

K^+ の輸送量：

Cl^- の輸送量：

解答群F

① 増加

② 減少

③ 変化なし

(c) 神経細胞などに見られるように、胃壁細胞にもナトリウムポンプ (Na^+-K^+ ATPアーゼ)が存在する。ナトリウムポンプは、胃壁細胞の血管側細胞膜に存在し、プロトンポンプや陰イオン輸送タンパク質、イオンチャネルとは無関係に働くと考えられる。

上記(b)においてプロトンポンプの働きを阻害する場合、ナトリウムポンプにおける Na^+ と K^+ の輸送量は、阻害剤で抑制しない場合と比べて、それぞれどのようになると考えられるか。最も適切な語句を解答群Gの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。ただし、同じ番号を選択してもよい。

Na^+ の輸送量：

K^+ の輸送量：

解答群G

① 増加

② 減少

③ 変化なし

(d) 膜タンパク質の働きは、人工膜小胞を用いて詳しく調べることができる。

この膜小胞は、脂質二重膜が球状に閉じた構造をしており、二重膜に膜タンパク質を組込むことができる(図3)。また膜小胞の内部には、イオンなどの物質を水溶液として封入することができ、膜小胞の内側と外側の水溶液組成も自由に設定することが可能である。

プロトンポンプが働くしくみは、ナトリウムポンプが働くしくみとよく似ている。すなわち、プロトンポンプによる H^+ 輸送は、ナトリウムポンプによる Na^+ 輸送と同様に考えることができる。プロトンポンプによる H^+ と K^+ の輸送のしくみを確かめるため、ブタの胃粘膜壁細胞からプロトンポンプを精製して、これを脂質二重膜に組込んだ人工膜小胞を二種類作製した(図3)。片方の膜小胞では、プロトンポンプは胃壁細胞にある状態と同じ向きに組込まれていた(膜小胞 α)。もう片方の膜小胞では、プロトンポンプは胃壁細胞にある状態とは逆向きに組込まれていた(膜小胞 β)。

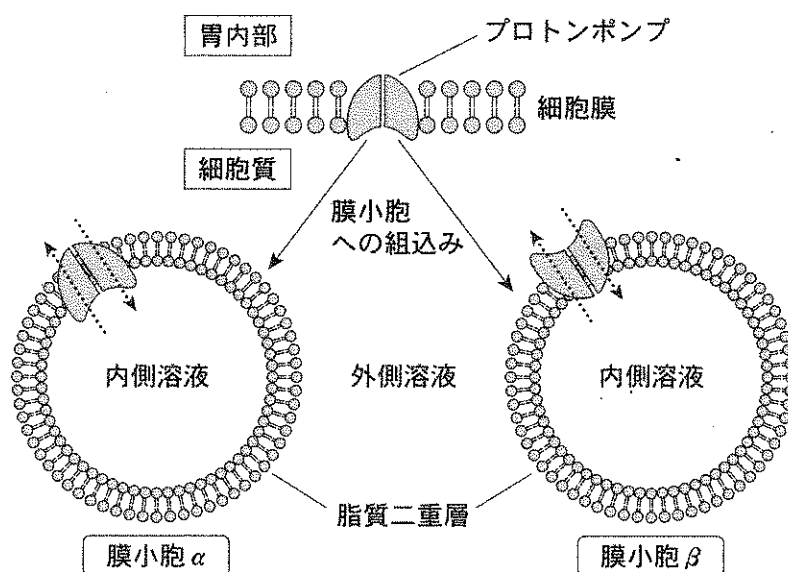


図3 プロトンポンプが組込まれた球状膜小胞の断面図

次に膜小胞 α あるいは、膜小胞 β を含む四種類の反応溶液を試験管にそれぞれ用意した。各反応溶液では、膜小胞の内側溶液と外側溶液に、 H^+ 、 K^+ 、ATP がいろいろな組合せで含まれるようにした(表1)。そして、表1に示される物質が全て反応溶液に添加された時点を反応の開始として、膜小胞の外側溶液における H^+ 濃度と K^+ 濃度の時間変化を測定した。

表1の各輸送実験について、膜小胞の内側溶液における H^+ 濃度と K^+ 濃度は、反応開始時と比較してどのようなになると考えられるか。表2の空欄 (ア) ~ (ク) にあてはまる最も適切な語句を解答群Hの中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。ただし、同じ番号を複数回選択してもよい。また、全ての実験について、 H^+ を与える物質が反応溶液中に含まれており、実験開始時の膜小胞の外側溶液と内側溶液の pH は等しく、中性であるとする。なお、 H^+ 、 K^+ 、ATP の各物質は、ポンプに対して十分量が存在し、測定時間の範囲内ではポンプ以外の脂質二重膜部分を透過しないものとする。

表1. 膜小胞を含む各反応溶液の組成

	膜小胞	H^+		K^+		ATP	
		内側	外側	内側	外側	内側	外側
実験1	α	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)
実験2	α	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)
実験3	β	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
実験4	β	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)

表中の(+)は、その物質が膜小胞の内側溶液あるいは、外側溶液に添加されていることを、(-)はその物質が添加されていないことを示している。また、実験4では K^+ 濃度は、膜小胞の内側溶液の方が膜小胞の外側溶液よりも高濃度である。

表2 膜小胞の内側溶液での濃度変化

	H ⁺ 濃度	K ⁺ 濃度
実験1	(ア)	(イ)
実験2	(ウ)	(エ)
実験3	(オ)	(カ)
実験4	(キ)	(ク)

解答群H

① 増 加

② 減 少

③ 変化なし

3 微生物と植物の相互作用に関する以下の文章を読み、設問に答えなさい。

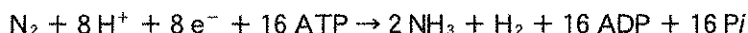
(34 点)

土の中には数多くの微生物が生きている。これらの微生物の多くは、そこに生えている植物と何らかの関係をもっている。これらには植物に病気を引き起こすものもあるが、植物にとって役に立つものもある。根粒菌は土壌細菌に分類される微生物であり、マメ科植物と共生関係にあるものが多い。根粒菌は空気中の窒素(N_2)を材料にして窒素化合物を作る。植物は土の中の硝酸塩やアンモニウム塩などの窒素化合物を水に溶けたイオンとして根から吸収しているが、根粒菌と共生している植物は、根粒菌が固定した窒素化合物をもらって生きているため、栄養分に乏しい土地でも生育することができる。

根粒菌とマメ科植物では、共生を行なう前にそれぞれが相手の確認を行う。マメ科植物の種子にはシグナル物質(物質 X)が含まれており、発芽する時にこれが土壤中に放出される。根粒菌は植物が出す物質 X を感知すると、これに応答して植物に対して物質 Y を出す。物質 X および物質 Y は熱に安定な物質である。また、植物種、根粒菌の種類により構造が少しずつ異なることが知られている。植物は物質 Y を感知すると、細胞内でさまざまな遺伝子のスイッチが入り、根粒菌を受け入れるための準備を始める。すなわち、物質 Y は、マメ科植物の根の根毛に作用し、細胞の分裂を開始させて根粒の形成を誘導する。

根粒形成は以下の過程で起こる。ダイズの場合、まず根毛の先端に根粒菌が接触する。植物は根毛の先端を折り曲げて根粒菌を包み込む。これにより根粒菌は根毛細胞に侵入する。根毛細胞に侵入した細菌は分裂しながら、根の内部に向かう。一方、皮層の外側の細胞が分裂を始め、根粒を形成するに至る。この間も根粒菌と植物細胞の間で情報のやりとりがあり、継続的に互いの認識がなされている。この際、正常なやりとりができない場合には根粒菌は異物として排除される。

- (1) 根粒菌は、ニトロゲナーゼと呼ばれる酵素の作用により、以下の反応により空気中の窒素を固定する。



ここで述べる H^+ は水素イオンを、 e^- は電子を、 P_i はリン酸を示す。この反応に必要なエネルギーはマメ科植物から供給される。マメ科植物は、光合成により同化した炭水化物を有機酸に変換し、根粒菌に与える。根粒菌は、与えられた有機酸をクエン酸回路を利用して分解し、ATP や活性型水素 $[\text{H}]$ を生成する。 $[\text{H}]$ は、嫌気的条件下で窒素固定反応に必要な水素イオンと電子になる。根粒菌が生産したアンモニアは、アンモニウムイオン (NH_4^+) に変換されたのち、宿主のマメ科植物に取り込まれ、アミノ酸などに変換され、道管を経て植物体全体に供給される。

- (A) 次の ア から ウ に当てはまる数字を入れなさい。なお数値が一桁となる場合は十の位は⑩をマークしなさい。

真核生物のミトコンドリアにおける糖代謝では、クエン酸回路において1分子のピルビン酸が完全に分解されるときに ア 分子のATPと、イ 分子の活性型水素 $[\text{H}]$ が発生する。 $[\text{H}]$ からは酸化リン酸化によりATPがつくられる。この結果、1分子のピルビン酸から ウ 分子のATPが生じる。根粒菌も同様の代謝経路をもっており、窒素固定のためのエネルギーを得ている。

(B) 以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りは②を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

(ア) 窒素固定には大きなエネルギーが必要であり、宿主であるマメ科植物はこれを維持するために、光合成で獲得したエネルギーの多くを消費している。

(イ) マメ科植物は、畑の土に硝酸イオンが多量に含まれる場合には根粒菌による窒素固定を必要としない。

(ウ) 根粒菌はマメ科植物と共生しないと生きていけない。

(エ) 道管を流れる道管液には光合成によって固定された炭水化物が多量に含まれる。

(オ) 根粒菌には葉緑体はないがミトコンドリアは存在する。窒素固定はミトコンドリアの内膜の内側で行われる反応である。

(2) 栄養分の非常に乏しい土に、窒素肥料成分のみを取り除いた肥料を加えて、窒素肥料成分以外は植物の生育に必要な量が含まれるように調製した(これを合成培養土と呼ぶことにする)。ポットに入れた合成培養土にハウレンソウの種子を蒔(ま)き、発芽・生育させた。この場合は、ハウレンソウの生育は著しく悪く、肥料不足の形態を示した。一方、同様にこの合成培養土にダイズの種子を蒔き、発芽させて生育させたところ、ダイズは良好に育ち、充分量の収穫が得られた。また、同様にこの合成培養土にアルファルファの種子を蒔き、発芽させて生育させたところ良好に育つことがわかった。ダイズおよびアルファルファの根を調べたところ、いずれにも多数の根粒が生じていた。なお、植物の栽培は十分な水の補給と適切な日照および温度の条件で行うものとする。これ以降の設問でも同様とする。

(A) ダイズを栽培し、刈り取った後、窒素肥料成分を除いた充分量の肥料を補充し、よく混合した。これにホウレンソウの種子を蒔き、発芽・生育させた。このホウレンソウの生育はどのようになると予想されるか。以下の記述のうち、正しいと思われるものを、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- ① 合成培養土で栽培したときと同様に生育が悪い、または育たない。
- ② 合成培養土で栽培したときよりも生育が良い。
- ③ 両者には差が認められない。

(B) ホウレンソウを栽培した後の合成培養土に、(A)と同様に窒素肥料成分を除いた充分量の肥料を補充した後、アルファルファの種子を蒔き、発芽・生育させた。このアルファルファの生育はどのようになると予想されるか。以下の記述のうち、正しいと思われるものを、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- ① 合成培養土で栽培したときよりも生育が悪い。
- ② 合成培養土で栽培したときと同じように生育が良い。
- ③ 両者には差が認められない。

(3) 上記の合成培養土を容器に入れ、高温で滅菌処理を行った。これを滅菌培養土と呼ぶことにする。得られた滅菌培養土を用いて以下の実験を行った。

(A) 滅菌培養土をポットに入れ、ダイズの種子を蒔き、発芽させて生育させた。このダイズの生育はどのようになると予想されるか。以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

(ア) 合成培養土で生育させた場合に比べて、光合成により作られる炭水化物の量が減少する。

(イ) 合成培養土で生育させた場合と同様に多数の根粒が生じる。

(ウ) 合成培養土で生育させた場合と同様に植物体がよく育つ。

(B) ダイズの根粒を採取し、乳鉢に入れて乳棒ですりつぶした。得られたペースト状の物質(根粒破碎物)を蒸留水に懸濁(けんだく)し、ポットに入れた滅菌培養土に振りかけた。これにダイズの種子を蒔き、発芽・生育させた。その結果、このダイズは合成培養土で生育させた場合と同様に、よく生育することが観察された。これに関して、以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

(ア) 合成培養土で生育させた場合に比べて、光合成により作られる炭水化物の量が減少する。

(イ) 合成培養土で生育させた場合と同様に多数の根粒が生じる。

(ウ) 根粒破碎物には生きた根粒菌が存在し、増殖した。

(4) 上記の滅菌培養土をポットに入れアルファルファの種子を蒔いた。次にダイズの根粒を採取し、乳鉢に入れて乳棒ですりつぶし、得られた根粒破砕物を蒸留水に懸濁し、これをアルファルファの種子を蒔いた滅菌培養土に振りかけた。発芽したアルファルファを生育させたところ、滅菌しない合成培養土で栽培した場合に比べて、生育が非常に悪かった。一方、アルファルファの根粒を採取し、同様に根粒破砕物をつくり、ダイズを蒔いた滅菌培養土にこれを振りかける同様の実験を行ったところ、ダイズの生育が非常に悪くなることが観察された。

(A) これらの実験では、アルファルファ、ダイズの根はどのようなになっているだろうか。以下の記述のうち、正しいものを選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- ① アルファルファ、ダイズの根ともに根粒が生じていた。
- ② ダイズの根のみに根粒が生じていた。
- ③ アルファルファの根のみに根粒が生じていた。
- ④ ダイズ、アルファルファのいずれの根にも根粒が生じていなかった。

(B) これらの実験結果から何が言えるだろうか。以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- (ア) ダイズの根粒破砕物はアルファルファの生育を促進する。
- (イ) アルファルファの根粒破砕物はダイズの生育を促進しない。
- (ウ) ダイズの根粒菌はアルファルファに共生して窒素固定をおこなう。
- (エ) アルファルファの根粒菌はダイズに共生して窒素固定をおこなう。

(5) マメ科植物が出す物質 X は、根粒菌の細胞膜にある受容体タンパク質が感知し、この情報をゲノムに伝えるための伝達物質を活性化。伝達物質が届いたゲノムでは、物質 Y を作るための遺伝子が発現する。一方、マメ科植物でも同様の機構が存在する。植物細胞の細胞膜には、物質 Y を検知するための受容体タンパク質 R が存在する。また、細胞膜の内側には伝達物質 P が待機している。根粒菌から発せられた物質 Y は、植物細胞の受容体タンパク質 R により感知され、この情報を伝えるための伝達物質 P が活性化される。伝達物質 P は物質 Y が存在しないときは不活性である。活性型の伝達物質 P は、核に運ばれ、ここで遺伝子群の発現のスイッチを入れるタンパク質(タンパク質 Z)と相互作用してこれを活性化。次にタンパク質 Z は、根粒形成に関わる遺伝子群の発現を誘発し、この結果、根粒形成が起こる。これを模式的に表すと図 1 のようになる。なお、細胞膜には多種類の受容体タンパク質が存在し、それぞれが認識する物質が異なることが知られている。また、受容体タンパク質の遺伝子が突然変異することで、そのアミノ酸配列が変化すると、認識する物質が変化する場合があることも知られている。

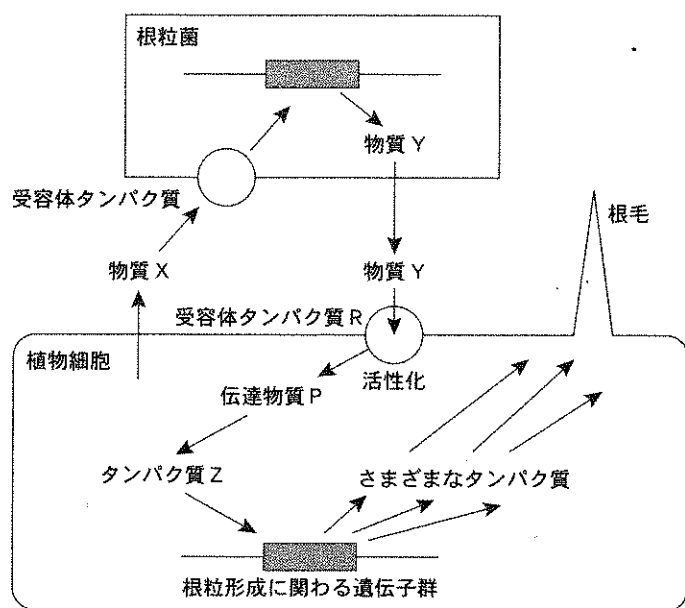


図 1 植物細胞と根粒菌での情報のやりとり

(A) タンパク質 Z に突然変異が生じ、伝達物質 P との結合能力を失ったダイズの変異体が生じた。これに関する以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- (ア) 変異体ダイズとダイズ根粒菌との共生に変化はなく、根粒が生じる。
- (イ) 変異体ダイズは、受容体タンパク質 R でダイズ根粒菌が出す物質 Y を検知するが、根粒形成に至らない。
- (ウ) 変異体ダイズは、アルファルファなどさまざまな根粒菌とも共生できるようになる。
- (エ) ダイズ根粒菌は変異体ダイズが出す物質 X を検知できなくなる。

(B) アルファルファの根粒をすりつぶし、得られた根粒破砕物を蒸留水に懸濁した。同様にダイズの根粒をすりつぶし、得られた根粒破砕物を蒸留水で懸濁した。ダイズから得られた根粒破砕物については、さらに、これを高温で滅菌処理をおこなった。次に、上記の滅菌培養土をポットに入れ、ダイズの種子を蒔いた。これに上記の滅菌したダイズの根粒破砕物を種子の上から添加し、さらにアルファルファの根粒破砕物を振りかけた。この後、発芽したダイズを栽培した。このダイズに関する記述のうち、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- (ア) 根粒が生じて良く育つ。
- (イ) ダイズの根毛は根粒菌を付着させることができる。
- (ウ) 根粒菌はダイズからのシグナル物質を感知できない。
- (エ) ダイズは物質 Y を感知し、伝達物質 P を活性化するが、根粒形成に至らない。
- (オ) ダイズは根粒菌を感知し、根粒形成が起こる。

(6) 土の中には数多くの微生物が生きている。この中には、植物に病気を引き起こす病原微生物がある。植物はさまざまな物質を放出しているため、病原微生物は根粒菌と同様の仕組みで宿主となる植物を認識している。すなわち、病原微生物は、宿主となる植物が出す物質を認識し、これに感染をするための遺伝子を発現させる。一方、植物は、病原微生物が出す物質Eを細胞膜にある受容体タンパク質が感知し、この情報をゲノムに伝えるための伝達物質を活性化する。活性型の伝達物質は、核に運ばれ、ここで耐病性に関わる遺伝子群の発現のスイッチを入れるタンパク質(タンパク質W)を活性化する。タンパク質Wは、耐病性に関わる遺伝子群の発現を誘発し、抗菌物質などを生産する(図2)。

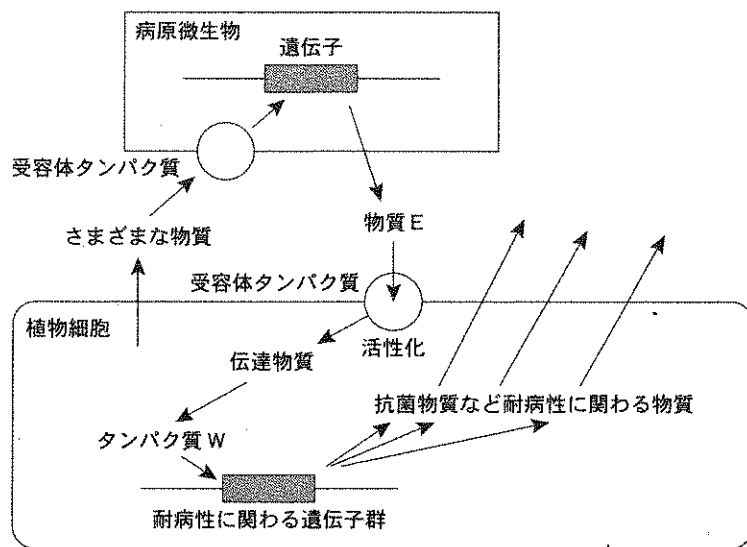


図2 病原微生物と植物細胞の耐病性の関係

これにより病原微生物の感染を阻止する。この場合、植物は、この病原微生物に対して耐病性を持っているという。一方、病原微生物が発する物質 E を植物が検知できない場合には、病原微生物は標的となる植物細胞に感染する。この結果、病気の発症に至る。この場合は、罹病性(りびょうせい)であるという。なお、物質 E には様々な種類のものがある。また、微生物により様々な構造を有するものが存在する。また、この受容体タンパク質には様々な種類が存在し、それぞれが認識する物質 E の構造が異なる。すなわち基質(微生物が出す物質)に対する特異性が非常に高いことが知られている。

イネの品種 A は、病原微生物 V に対して耐病性であった。一方、品種 B のイネは、病原微生物 V に対して罹病性であった。なお、品種 A、品種 B ともに正常に機能する受容体タンパク質、伝達物質、タンパク質 W が存在することが確認されている。

(A) 品種 A、品種 B に関する以下の記述のうちで、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。

- (ア) 品種 A の受容体タンパク質は、病原微生物 V が出す物質 E を認識し、抗菌物質をつくる。
- (イ) 品種 B の受容体タンパク質は、病原微生物 V が出す物質 E を認識し、抗菌物質をつくる。
- (ウ) 品種 A の伝達物質は病原微生物 V が出す物質で活性化されない。
- (エ) 品種 B の伝達物質は病原微生物 V が出す物質で活性化されない。

(B) 病原微生物 V に突然変異が生じ、物質 E の構造に変化が生じた。これにより品種 A、品種 B ともに受容体タンパク質による認識ができない構造になった。この結果、どういうことが起こるだろうか。以下の記述のうちで、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

(ア) 品種 A は、突然変異した病原微生物 V に感染し、病気を発症するようになる。

(イ) 品種 B は、突然変異した病原微生物 V には感染しないため、病気を発症しない。

(ウ) 品種 A では、受容体タンパク質で突然変異した病原微生物 V を認識して伝達物質が活性化される。

(エ) 品種 B では、突然変異した病原微生物 V に対して耐病性に関わる遺伝子群が機能する。

(C) 品種 B のタンパク質 W に突然変異が生じて、伝達物質の有無にかかわらず活性が維持されるように変化した。その結果、この品種 B にはどのような変化が現れるだろうか。以下の記述のうちで、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

(ア) 病原微生物 V に対して罹病性である。

(イ) 病原微生物 V が出す物質 E を受容体タンパク質で認識して伝達物質が活性化される。

(ウ) 病原微生物 V に対する耐病性に関わる遺伝子群が機能する。

(エ) (B)で述べた物質 E の構造に変化が生じた病原微生物 V に対しても耐病性となる。

(D) 品種 A のタンパク質 W に突然変異が生じて、伝達物質の有無にかかわらず活性が維持されるように変化した。この場合、(B)で述べた物質 E の構造に変化が生じた病原微生物に対してはどういう結果となるだろうか。以下の記述のうちで、正しいものは①を、誤りは②を、どちらともいえないものは③を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

- (ア) 変異した病原微生物 V に対して罹病性である。
- (イ) 変異した病原微生物 V の物質 E を受容体タンパク質で認識して伝達物質が活性化される。
- (ウ) 変異した病原微生物 V に対する耐病性に関わる遺伝子群が機能する。
- (エ) 病原微生物が存在しないときは耐病性に関わる遺伝子群は発現しない。