

令和 2 年 度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第1問 タンパク質の構造と機能に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

タンパク質は、アミノ酸から構成されるポリペプチドが折りたたまれた構造体で、どのようなアミノ酸をいくつ結合させるかといった情報は遺伝子に含まれている。タンパク質は、細胞の形や構造の維持、生体内の化学反応の触媒、細胞間情報伝達の仲介など様々な機能を有する。タンパク質が持つこういった機能の多くは様々な生物に共通して必要なものであるが、同じ機能を持つタンパク質であっても、生物種が異なるとアミノ酸配列の一部に違いが見られることが多い。

タンパク質の中でも免疫グロブリン(抗体)は、リンパ球のうちB細胞が産生するもので、2本のL鎖と2本のH鎖が4つのS-S結合によってつながったY字型の構造をしており、特定の分子(抗原)との特異的な結合(抗原抗体反応)にかかわる可変部と、それ以外の定常部からなる。抗体は生体防御に大きな役割を担っている。例えば、体内に侵入した毒素や病原体に抗体が結合することで、毒素が中和されることや、病原体が効率よく排除されることが知られている。抗体は医療にも利用されており、1890年には、破傷風菌やジフテリア菌の毒素を馬などに接種することで毒素に対する抗体を作らせ、その抗体を含んだ血清を患者に注射するという血清療法が提案された。さらに、1975年には均質で純度の高い抗体を作製可能な手法(ハイブリドーマ法と呼ばれる)が開発され、数多くの臨床試験が進められた。しかしながら、この手法では抗原をマウスなどヒト以外の動物に接種して抗体を作製するために、ヒトにおいて抗体自体が異物として認識されてしまい、免疫応答を引き起こすことから、期待されたようには実用化されなかった。現在ではこの問題を克服することが可能となり、抗体はがんや関節リウマチなどに対する画期的治療薬(抗体医薬と呼ばれる)として利用されている。

問1 下線部(a)に関する以下の文の下線部①～⑤が正しければ○を記せ。また、間違っていれば×を記すとともに、正しく書き換えよ。

- タンパク質を構成するアミノ酸のうち、酸性の側鎖をもつアミノ酸はアスパラギン酸とグルタミン酸の2種類のみである。また、塩基性の側鎖をもつアミノ酸はリシンとアルギニンの2種類のみである。
- タンパク質の二次構造とは、アミノ酸間のS-S結合により形成される構造で、じぐざぐに折れ曲がった構造や、らせん状の構造がこれに含まれる。
- タンパク質に熱や酸、アルカリなどを加えると、その働きが失われてしまうことがあり、変性と呼ばれている。変性すると、アミノ酸の種類が変わる。

問 2 下線部(b)に関する以下の問に答えよ。

- (1) 抗体の構造を図示せよ。ただし、図中に「L鎖」と「H鎖」を記するとともに、L鎖とH鎖の「可変部」と「定常部」がわかるように記せ。また、S-S結合は点線で記せ。
- (2) 214個のアミノ酸からなるL鎖と448個のアミノ酸からなるH鎖により構成される抗体を、S-S結合を完全に切断処理したうえで、分子量マーカーと同時に電気泳動した。電気泳動が以下の手法であるとき、どのようなパターンが現れるか。最も適当と考えられるものを次のページの①～⑥の図から1つ選んで番号で答えよ。また、選んだ理由を、バンドの位置を推測するのに必要な計算式とともに4行以内で記せ。ただし、L鎖とH鎖はいずれも、平均分子量128のアミノ酸を上記の数だけペプチド結合によってつなぐことにより合成されるものとする。

ここで用いた電気泳動はSDS-PAGEと呼ばれるもので、主に分子量の違いによってタンパク質を分離する手法である。本手法では分子量が小さいタンパク質ほど泳動方向に移動しやすくなる。例えば、図1のように分子量がそれぞれ250,000、150,000、100,000、50,000、25,000、10,000の6種類のタンパク質の混合物を分子量マーカーとして電気泳動すると、分子量10,000のタンパク質が最も移動度が大きくなる。また、同時に電気泳動したタンパク質Xの分子量が100,000であるならば、分子量マーカーの中の分子量100,000のタンパク質と同じ移動度を示す。

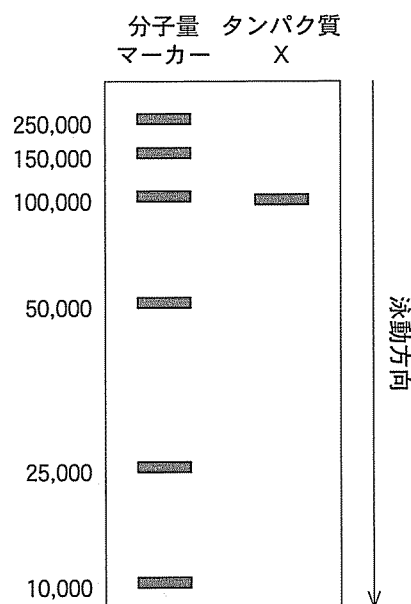
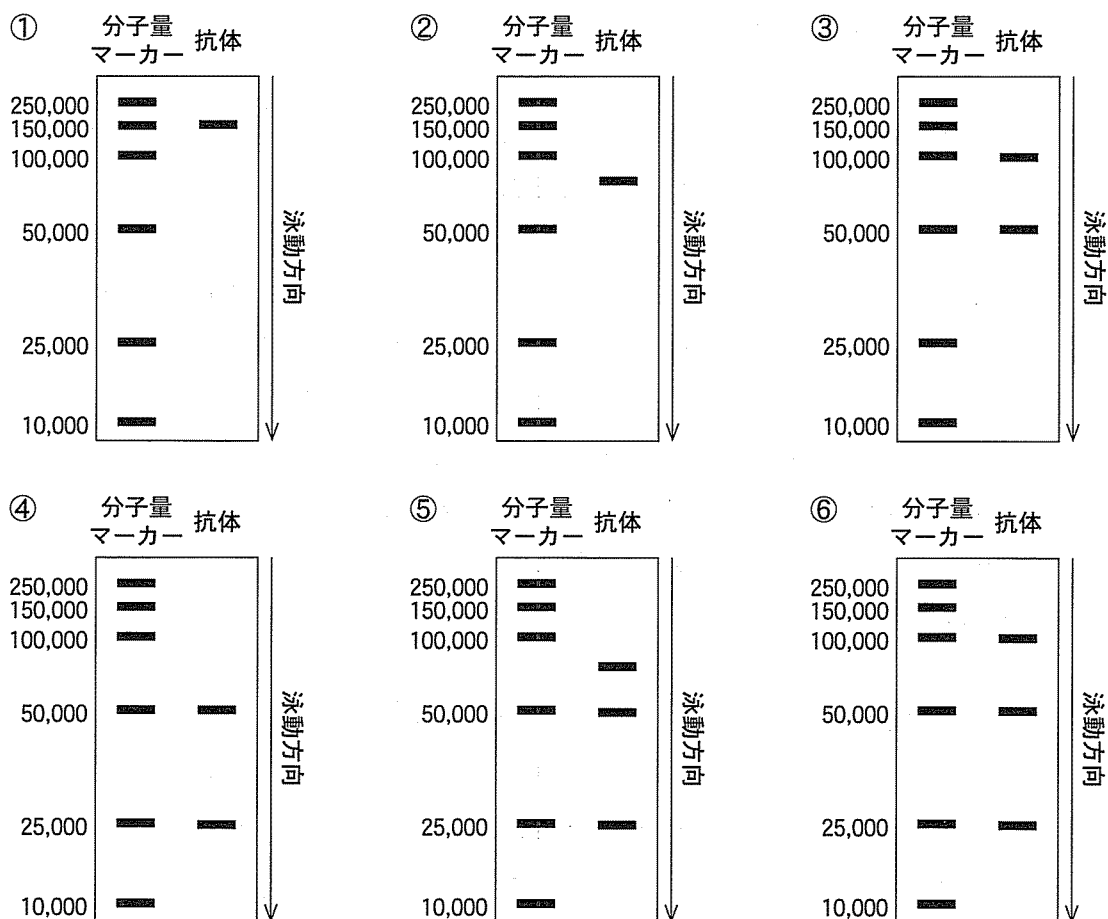


図 1



問 3 下線部(c)に関して、抗体が病原体と結合した後、病原体が排除される機構を、1行で述べよ。

問 4 下線部(d)に関する以下の問に答えよ。

- (1) ヒト以外の動物を用いて作製された抗体がなぜヒトにおいて異物として認識されるのか、2行以内で述べよ。
- (2) この問題を克服する適切な方法としてどのようなことが考えられるか、2行以内で述べよ。

第2問 ABO 式血液型に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

私たちの血液型は、第9染色体上のグリコシルトランスフェラーゼ遺伝子の多型によって決定される。これを I^A 、 I^B 、 I^O とする。 I^A と I^B は I^O に対して優性(顕性)を示し、 I^A と I^B の間には優劣はない。 I^A タンパク質は、赤血球表面の H 抗原と呼ばれるオリゴ糖鎖の末端に N-アセチルガラクトサミンを付加するが、 I^B タンパク質はガラクトースを付加する。 I^O タンパク質は糖を付加する活性が欠損しているため H 抗原に何も付加することができない。 I^A と I^B は、4つの塩基が異なるだけである。また I^O には、遺伝子領域に1塩基の欠失が認められる。^(a)

ABO 式血液型の対立遺伝子の全世界での遺伝子頻度は I^A が 0.22、 I^B が 0.16、 I^O が 0.62 であるが、世界中に均一に分布しているわけではない。例えば、 I^O の遺伝子頻度は、日本や中央アジアでは 0.5 以下となっている。また、新大陸の先住民集団^(b)における I^O の遺伝子頻度を調べると、北米のアメリカ合衆国と南米では 0.9 以上、カナダでは 0.8~0.9 とかなり高い。

問1 ある病院にいる4人の赤ちゃんの血液型が AB、A、B、O とすべて異なるとする。この4人の赤ちゃんの両親の血液型が、O と O (ア)、AB と O (イ)、A と B (ウ)、A と A (エ)とすると、それぞれの赤ちゃんの親はどの血液型の夫婦か、(ア)~(エ)の記号で答えよ。

問2 下線部(a)に関して、2つのエキソンからなる、ある遺伝子のエキソンまたはイントロンに1塩基の欠失が生じたときに起こる可能性のあるものを以下よりすべて選び、番号で答えよ。ただし、いずれの場合においてもスプライシングは正常に行われるものとする。

- ① エキソン中の1塩基欠失でフレームシフトが起こり、機能のないタンパク質がつけられる。
- ② エキソン中の1塩基欠失で、正常タンパク質に余分なペプチドが連結したタンパク質がつけられる。
- ③ エキソン中の1塩基欠失で、一次構造がもとのタンパク質と全く同じタンパク質がつけられる。
- ④ エキソン中の1塩基欠失で、タンパク質がつけられなくなる。
- ⑤ イントロン中の1塩基欠失でフレームシフトが起こり、機能のないタンパク質がつけられる。
- ⑥ イントロン中の1塩基欠失で、正常タンパク質に余分なペプチドが連結したタンパク質がつけられる。
- ⑦ イントロン中の1塩基欠失で、一次構造がもとのタンパク質と全く同じタンパク質がつけられる。

問 3 ABO 式血液型の分類は臨床の現場において重要である。その理由を 1 行で述べよ。

問 4 まれに H 抗原を作ることができない人がいる。この人の血液型を通常の抗 A 抗体と抗 B 抗体を用いて判定した時、何型と判定されるか答えよ。また、その理由を 3 行以内で述べよ。ただし、この人は正常な I^A を持っているものとする。

問 5 ある地域集団における I^A 、 I^B 、 I^O の遺伝子頻度が、それぞれ 0.30、0.10、0.60 であったとする。もし結婚が血液型とは無関係にこの集団内で行われるとすると、生まれてくる子供の血液型の頻度はどうなるか。AB、A、B、O 型についてそれぞれ小数第 2 位まで求めよ。

問 6 下線部(b)に関して、ここで先住民集団に着目した理由として考えられることを 2 行以内で述べよ。

問 7 南北アメリカ大陸における I^O の遺伝子頻度が、日本や中央アジアに比べて著しく高い理由を推測し、5 行以内で述べよ。

第3問 バクテリオファージT2の増殖に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

バクテリオファージT2(以後、単にファージと呼ぶ)は大腸菌を宿主とするウイルスの一種で、タンパク質でできた殻とDNAとから成る。一般的な培養条件下では、大腸菌にファージが感染してから25分程度の暗黒期と呼ばれる期間を経てようやく菌体内にファージが現れる。その後、急速に数を増し、感染後1時間ほど経過すると菌体1個あたり100個程度のファージが形成され、やがて菌体が壊れてファージが拡散する。ハーシーとチェイスは、ファージのタンパク質とDNAをそれぞれイオウとリンの放射性同位体で標識(目印をつけること)し、増殖過程におけるこれらの挙動を解析することにより、DNAがファージの増殖に必要な情報を保持していることを突き止めた。

問1 下線部(a)に関して、ファージは約16万塩基対からなるDNAを含む。ヒトの場合ゲノムの大きさはDNAの塩基対の数にして約30億にもなる。したがって、DNAが全てワトソンとクリックにより提唱された二重らせん構造をとっているとした場合、細胞周期のG1期にあるヒトの体細胞の核に含まれるDNAの長さの総計は、計算上約2mになる。同様に、ファージに含まれるDNAの長さを計算した場合、およそどれほどの長さになるか。以下より最も近いものを選んで番号で答えよ。

- ① 1 μm ② 2.5 μm ③ 5 μm ④ 10 μm ⑤ 25 μm
⑥ 50 μm ⑦ 100 μm ⑧ 250 μm ⑨ 500 μm ⑩ 1 mm

問2 ファージに含まれるDNAは、分子としては巨大で、トリクロロ酢酸と呼ばれる酸を加えると沈殿する。しかしDNAをDNA分解酵素で細かく切断すると沈殿しなくなる。以上のことを踏まえ、大腸菌に感染する前のファージにおいてDNAがどこに存在するかを解析した以下の2つの実験に関する問に答えよ。なお、用いたDNA分解酵素の量は、37℃で15分間処理することにより、実験で用いた量のファージや大腸菌に含まれるDNAと同量のDNAを細かく切断するのに十分な量とする。

[実験1]

- ・ DNAを放射性同位体で標識したファージの溶液を2本の試験管に分け、一方はDNA分解酵素を加えて37℃で15分間処理し、他方は酵素を加えずに37℃で15分間処理した。
- ・ それぞれの試験管にトリクロロ酢酸を加えた後、遠心分離により沈殿と上清に分け、沈殿と上清それぞれの放射性同位体の量を計測した。
- ・ その結果、DNA分解酵素の有無にかかわらず、上清に検出された放射性同位体は全体の1%以下と、わずかであった。

[実験 2]

- DNA を放射性同位体で標識したファージの溶液を 4 本の試験管に分け、それぞれ 70℃～100℃ の異なる温度で 10 分間熱処理した。
- じゅうぶんに冷ました後、それぞれの試験管に DNA 分解酵素を加え、37℃ で 15 分間処理した。
- その後、それぞれの試験管にトリクロロ酢酸を加えて DNA を沈殿させ、遠心分離により沈殿と上清を分け、沈殿と上清それぞれの放射性同位体の量を計測した。
- 結果は、図 2 に示す通りであった。

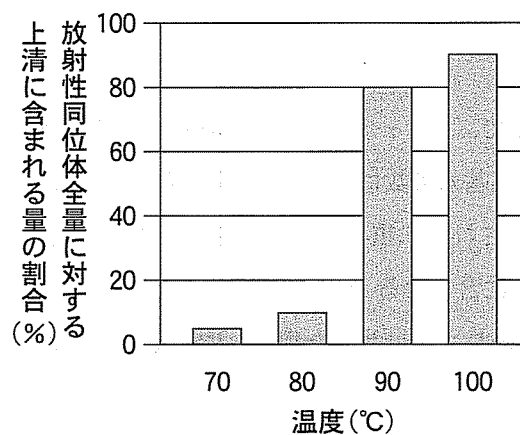


図 2

- (1) 実験 1 の結果が意味することとして適当な記述を以下より 1 つ選んで番号で答えとともに、そのようになった理由として考えられることを、ファージにおける DNA の存在場所という観点から 2 行以内で述べよ。
- ① ファージの DNA は、DNA 分解酵素によってほぼ完全に分解された。
 - ② ファージの DNA は、DNA 分解酵素によってほとんど分解されなかった。
 - ③ ファージの DNA は、DNA 分解酵素の有無にかかわらず、37℃ で 15 分間処理することによりほぼ完全に分解した。
- (2) 実験 2 から、ファージの構造の熱安定性に関して、どのようなことが考えられるか、1 行で述べよ。

問 3 下線部(b)に関して、ファージが感染した大腸菌におけるファージタンパク質とファージ DNA それぞれの挙動を解析した以下の 2 つの実験に関する問に答えよ。

[実験 3]

- ・ DNA を放射性同位体で標識したファージを大腸菌に感染させ、5 分後に感染していない(大腸菌に付着していない)ファージを除いた。
- ・ その後、大腸菌を 2 本の試験管に分け、一方は 80℃ で 10 分間の熱処理により大腸菌を破壊し、他方は熱処理せずに 10 分間置いた。
- ・ それぞれをさらに DNA 分解酵素を加えた試料と加えない試料とに分けたうえ、37℃ で 15 分間処理した。
- ・ これらすべての試料について、実験 1、実験 2 と同様に、トリクロロ酢酸を加えて DNA を沈殿させ、遠心分離により沈殿と上清を分け、沈殿と上清それぞれの放射性同位体の量を計測した。
- ・ 結果は、図 3 に示す通りであった。

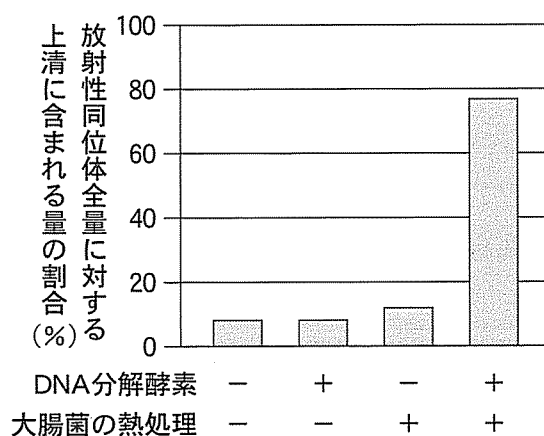
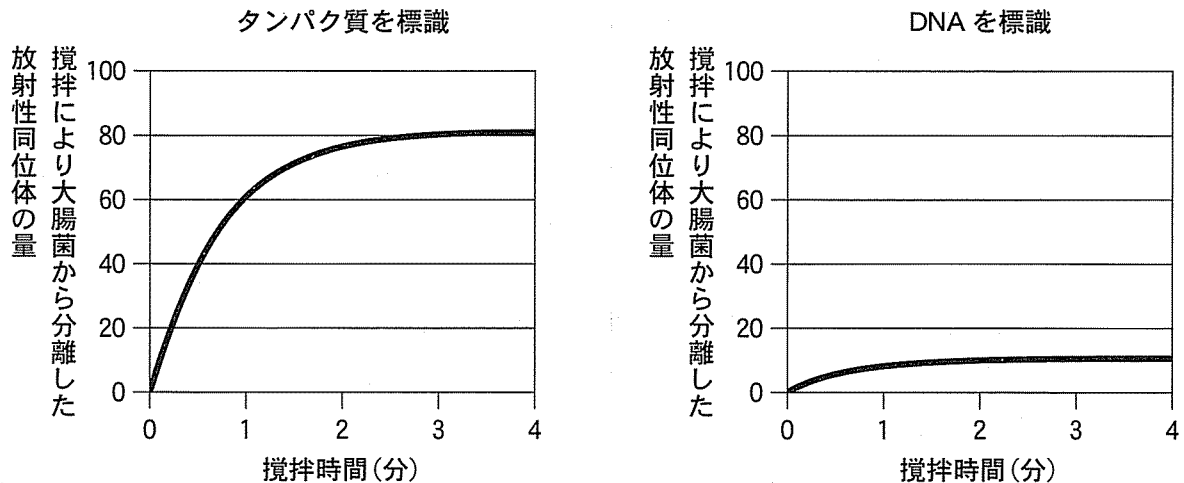


図 3

[実験 4]

- ・ タンパク質を放射性同位体で標識したファージと DNA を放射性同位体で標識したファージそれぞれを別の大腸菌に感染させた後、5 分後に感染していない(大腸菌に付着していない)ファージを除いた。
- ・ その後、大腸菌を含む培養液をミキサーにかけて一定時間激しく^{かくはん}攪拌した。
- ・ これを弱い遠心分離により大腸菌を含む沈殿と大腸菌を含まない上清とに分けた後、それぞれの試料に含まれる放射性同位体の量を計測した。
- ・ 図 4 は、この実験の結果を示すグラフで、大腸菌とともにあった放射性同位体が攪拌により上清へ移行する過程を示したものである。

なお、攪拌により大腸菌が破壊されないこと、ファージのような小さな粒子は、この弱い遠心分離によって沈まず、上清に含まれることが確認されているものとする。



注意：放射性同位体の量は、攪拌前に大腸菌とともにあった量を100としたときの相対量で示してある。

図4

(1) 実験3から、ファージが大腸菌に感染した後、ファージDNAはどこに、どのような状態で存在すると考えられるか1行で述べるとともに、そう考えられる理由を、実験1と実験2の結果も踏まえたうえで、5行以内で述べよ。

(2) 実験4から、ファージが感染した大腸菌におけるファージのタンパク質とDNAの挙動の違いについて考えられることを、理由とともに4行以内で述べよ。

問4 実験1～4の結果を踏まえ、冒頭文中の下線部(c)について検証する目的で、感染の1時間後に一定量の大腸菌において形成されるファージの数が、実験4と同じ条件で2分30秒間攪拌することによってどう変化するかを調べた。ここで下線部(c)にある内容が正しいとした場合には、どのような結果になると考えられるか。適当なものを以下より1つ選んで番号で答えよ。

- ① 攪拌しない時の1割～2割にまで減少する。
- ② 攪拌しない時の約半分程度にまで減少する。
- ③ 攪拌しない時とほぼ同じである。
- ④ 攪拌しない時の2倍程度にまで増加する。
- ⑤ 攪拌しない時の約5倍～10倍にまで増加する。

問5 放射性同位体で標識したファージは、イオウやリンの放射性同位体を含む無機塩類を加えた培養液中で培養した大腸菌に、標識していないファージを感染させ、増殖させることにより作成されたものである。大腸菌は無機塩類に含まれるイオウやリンを栄養素の一部として増殖することが知られている。ここで、無機塩類に含まれる放射性同位体がファージへ移行する過程を、順を追って5行以内で説明せよ。

第4問 植物ホルモンに関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

植物の成長や生理活性の多くは、植物体自身が合成している植物ホルモンにより制御されている。これまでに10種類近くの植物ホルモンが確認されており、それらの働きや作用メカニズムの研究は、農業や園芸の分野において様々に役立てられてきた。代表的な例として、アジアを中心とした食糧危機に備えるために開発されたイネやコムギの多収穫品種^(a)がある。これらの品種では、ジベレリンの合成経路に異常が生じており、そのために植物体の背丈が適度に低い、いわゆる半矮性の性質を持つ。

問1 以下に挙げた(ア)～(オ)に該当する植物ホルモンとして最も適当なものを下から選び、記号で答えよ。

- (ア) 種なしブドウを作り出すために、ブドウの花に処理される。
- (イ) 茎の先端部から光の当たらない側に移動し、細胞の成長を促進することで光屈性を引き起こす。
- (ウ) 植物の茎頂で合成され、側芽の成長を抑制する。
- (エ) 果実の成熟を促進する。
- (オ) 気孔の閉鎖を誘発する。

- | | | |
|----------|-----------|---------|
| ① オーキシン | ② サイトカイニン | ③ ジベレリン |
| ④ アブシシン酸 | ⑤ エチレン | ⑥ フロリゲン |

問2 下線部(a)に関して、イネの収穫量を画期的に向上させたミラクルライスと呼ばれる半矮性多収穫品種が存在する。この品種では、ジベレリンの合成に関わる *sd1* 遺伝子に変異が生じていることが知られている。ジベレリンは植物体内においてゲラニルゲラニルピロリン酸(GGPP)から様々な酵素反応を経て GA_1 もしくは GA_4 として合成される。 GA_1 と GA_4 はどちらもイネに対してジベレリンとしての生理活性を示すが、合成過程で生じる中間体はいずれも活性を持たない。

- (1) 図5は、肥料の量がイネの成長と収穫量におよぼす影響を、従来の品種と半矮性多収穫品種との間で比較したものである。この図から、半矮性という性質がなぜ収穫量の増加をもたらしたと考えられるか、3行以内で述べよ。

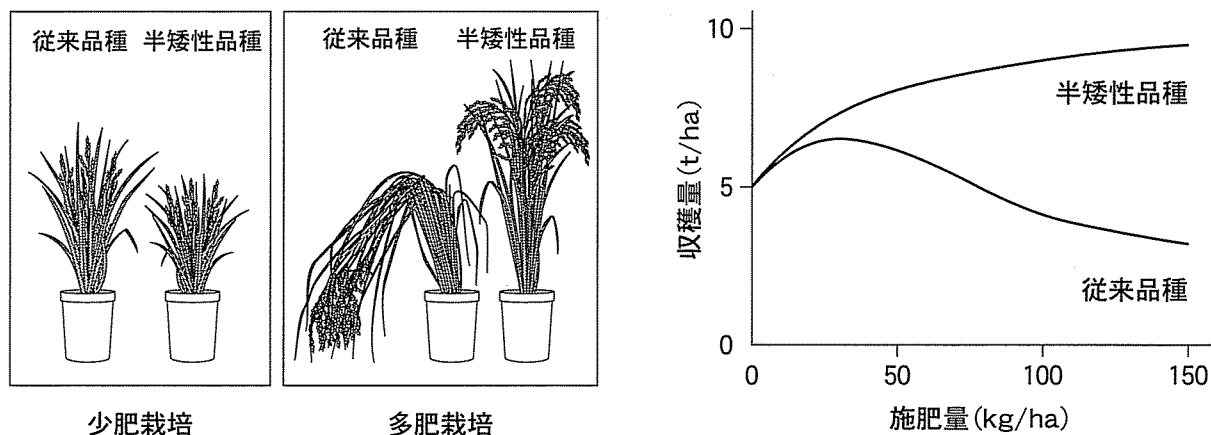


図5

- (2) ジベレリン合成に関わる遺伝子である *sd1* 遺伝子および *kao* 遺伝子の欠損株 (SD 1 株および KAO 株) を作成したところ、正常株に比べて SD 1 株は半矮性を、KAO 株は強い矮性を示した。次に、これらの株におけるジベレリン GA_1 や合成中間体の存在量を測定したところ、図6にある表のような結果となった。図には、イネにおけるジベレリンの合成過程を簡略化したものをあわせて示してある。この結果から、*sd1* および *kao* 遺伝子から作られる酵素はジベレリン合成過程中 A~D のどの段階に関与すると考えられるか、最も適切と考えられるものを1つずつ選び、記号で答えよ。

	カウレン	GA_{53}	GA_{20}	GA_1
正常株	9.2	0.9	1.2	0.6
SD 1 株	8.1	1.2	0.2	0.1
KAO 株	7.8	0.1	0.03	< 0.01

注意：数値はイネ 1 g あたりに含まれる各物質の重量 (ng)

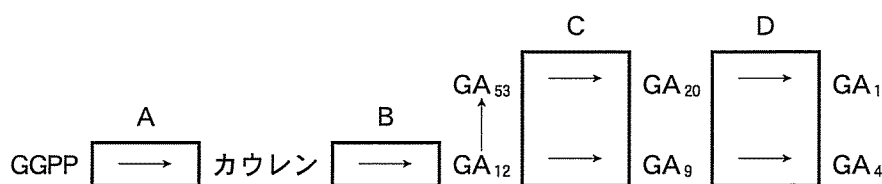
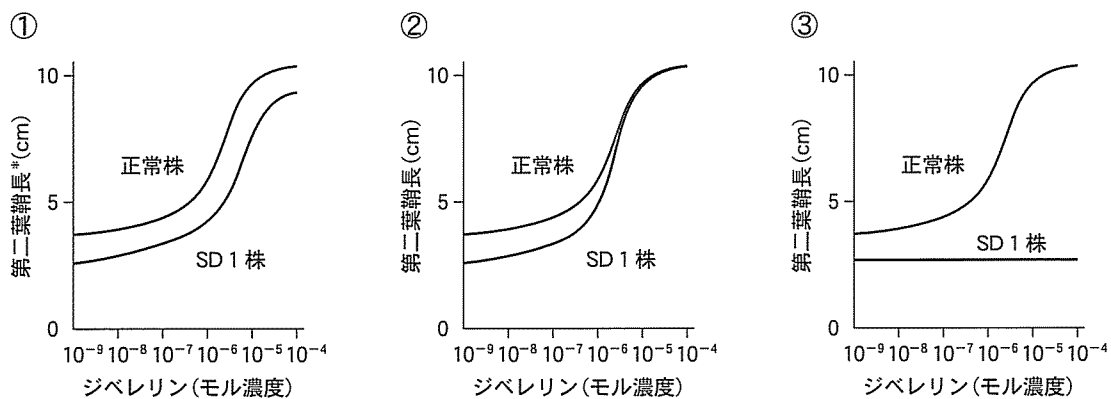


図6

- (3) イネには *sd1* 遺伝子から作られる酵素と同じ触媒作用を持つタンパク質が 4 種類存在するが、*kao* 遺伝子から作られる酵素が触媒する段階に関しては 1 種類のみである。これを踏まえて、KAO 株が強い矮性形質を示すのに対し、SD 1 株が半矮性である理由を 4 行以内で述べよ。
- (4) 正常株および SD 1 株にジベレリン処理を施した場合、イネの伸長にどのような効果を与えると考えられるか。最も適切と考えられるものを①～③の図から 1 つ選び、記号で答えよ。



* 第二葉までの苗丈の長さ。ジベレリンによる伸長作用の指標として用いられる。

問 3 生体内におけるジベレリンの作用を理解するには、ジベレリン合成経路に加えてジベレリンを受容し、その刺激を次の分子へと伝える情報伝達経路を解明することが重要である。そこで、ジベレリン受容体を同定する目的で、有望な表現型を示すイネの変異株を選別し、GID 1^(b)株と名付けた株を得た。さらに、この株を用いて以下のような実験を行った。

[実験 1] この変異株における遺伝子の変異を解析したところ、*gid1* 遺伝子が欠損していることが明らかになった。また、すでにジベレリンの情報伝達経路に変異を持つ株として知られている SLR 1 株は、*slr1* 遺伝子の欠損により正常株よりも茎の伸びた徒長形質を示すが、両者を交配することで両方の遺伝子が欠損している変異株を新たに作成したところ、SLR 1 株と同等な徒長形質を示した。

[実験 2] GID 1 株における *slr1* タンパク質の存在量を計測したところ、野生株に比べて非常に多くの *slr1* タンパク質が存在していた。

[実験 3] 正常株にジベレリン処理を施すと、*slr1* タンパク質が速やかに分解されて存在量が減少したが、GID 1 株にジベレリン処理を施しても *slr1* タンパク質の存在量は変化しなかった。

- (1) 文中の下線部(b)に関して、ジベレリン受容体を同定するのに適した変異株として、どのような表現型を持つ株を選別すればよいか。①～④に挙げた特徴のうち、あてはまるものを全て選び、記号で答えよ。
- ① ジベレリンの合成経路に異常を持つ変異体と同様な形態上の変化が見られる。
 - ② ジベレリンを与えても葉や茎が伸びない。
 - ③ 種子にジベレリンを与えるとアミラーゼの合成が誘導される。
 - ④ ジベレリンが全く合成されない。
- (2) 正常株および GID 1 株をジベレリン合成阻害剤であるユニコナゾールで処理したとき、処理前に比べて slr 1 タンパク質の存在量はそれぞれの株でどのように変化すると考えられるか、2 行以内で述べよ。
- (3) 実験 1～3 の結果から、ジベレリン刺激からの情報は、gid 1 タンパク質や slr 1 タンパク質を介して、どのようにイネの伸長成長を制御していると考えられるか。gid 1、slr 1 タンパク質それぞれの働きや slr 1 タンパク質の量的な変化に言及しながら 4 行以内で述べよ。
- (4) GID 1 株の表現型から、gid 1 タンパク質がジベレリン受容体である可能性が高いと考えられる。しかし、これらの実験結果だけでは gid 1 タンパク質がジベレリン受容体そのものであることの直接的な証拠としては不十分である。それでは、どのような実験を追加し、どのような結果が得られればジベレリン受容体であると言えるか、3 行以内で述べよ。

