

F 5 生 物

この冊子は、生物の問題で 1 ページより 33 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、解答用紙に受験番号と氏名を記入してください。また、解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し、さらに受験番号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、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。

(下書き用紙)

(下書き用紙)

1 細胞膜ではたらく膜タンパク質に関する以下の設問に答えなさい。(33点)

細胞は細胞膜によって外界と隔てられている。細胞膜では、1つの親水性部分と2つの疎水性部分をもつリン脂質の二重層に、様々な膜タンパク質が埋め込まれている。膜タンパク質の細胞膜に埋もれた部分は主に (ア) 構造または (イ) 構造といった二次構造をとっている。(ア) 構造はポリペプチド鎖が主鎖内の (ウ) 結合によってらせん状の構造を形成している。一方 (イ) 構造はジグザグ状のポリペプチド鎖が平行に並び、隣り合った主鎖の間で (ウ) 結合を形成している。

真核生物の細胞の膜タンパク質は、細胞外からの物質の取り込み、細胞内の物質の排出、細胞膜を介した情報伝達に関与している。物質の取り込みや排出に関与する膜タンパク質の中で、小孔を形成し特定の物質を通過させるものをチャネルと呼ぶ。またアミノ酸や糖などの低分子を結合すると自身の構造を変化させ、結合した分子を通過させる輸送体(担体)と呼ばれる膜タンパク質もある。このように物質の濃度が高い方から低い方へ輸送されることを (エ) 輸送という。脂質二重層自体は (オ) 性の物質を通しやすい性質をもっている。よって (オ) 性のホルモンは膜タンパク質を介さずに細胞膜を通過することができ、直接細胞内の受容体に結合して遺伝子の発現を調節する。

- (1) 文章中の (ア) ～ (オ) に当てはまる最も適切な語句を解答群Aより選び、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。

解答群A

- | | | |
|------|---------------|------------------|
| ① 能動 | ① 親水 | ② 共有 |
| ③ 疎水 | ④ β シート | ⑤ α ヘリックス |
| ⑥ 相補 | ⑦ 水素 | ⑧ 塩基 |
| ⑨ 受動 | ⑩ ジスルフィド | |

(2) 膜タンパク質 X は細胞膜に埋まっており、膜タンパク質 X の N 末端は細胞の外側、C 末端は細胞の内側を向いて、両末端とも脂質二重層の外に露出している。図 1 に示すように膜タンパク質 X の C 末端側に、親水性タンパク質である緑色蛍光タンパク質(GFP)を融合したタンパク質(融合タンパク質 A)の遺伝子を作製し、動物細胞で発現するプラスミドに組み込んで融合タンパク質 A を細胞膜に産生させた。融合タンパク質 A を構成する膜タンパク質 X, GFP, およびリン脂質の模式図を図 2 に示す。融合タンパク質 A および脂質二重層の状態を示す模式図として、最も適切なものを解答群 B より選び、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、GFP を融合しても膜タンパク質 X の構造や細胞膜内での配置は変化しないものとする。

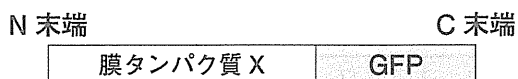
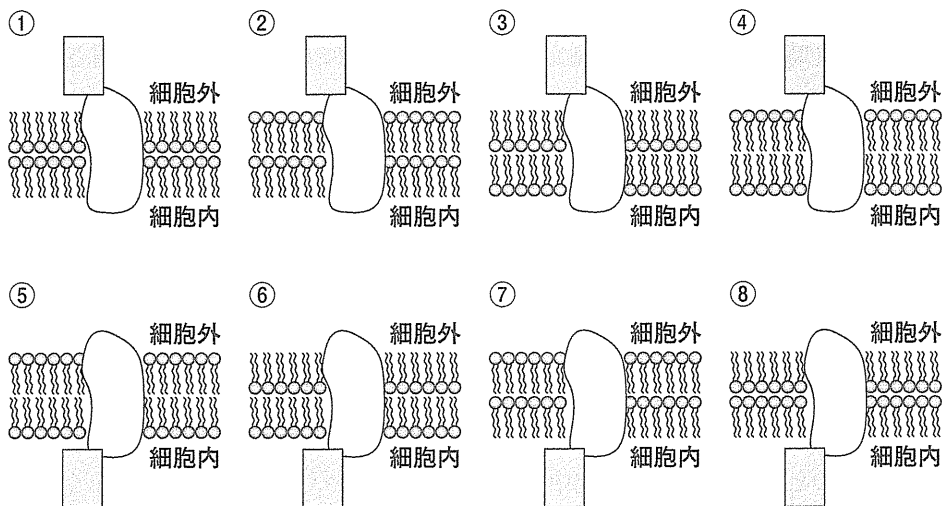


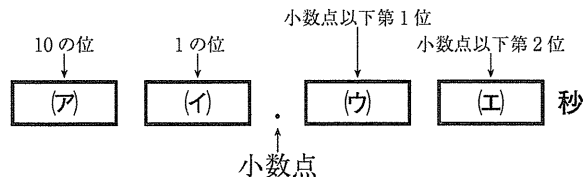
図 1 融合タンパク質 A の模式図

図 2 構成物の模式図

解答群 B



- (3) ある動物細胞に融合タンパク質 A の遺伝子を導入し、細胞膜に融合タンパク質 A を産生させた。融合タンパク質 A について、細胞膜上での 1 分子の動きを観察したところ、0.01 秒の間に直線距離で平均 20 ナノメートル(10^{-9} メートル)移動した。この細胞が、直径 6 マイクロメートル(10^{-6} メートル)の球状であると仮定したとき、融合タンパク質 A が、一方の極(球の直径の一端)から反対側の極まで最短距離で、細胞膜上を平均速度で移動するのにかかる時間は何秒か。以下の (ア) ～ (エ) に当てはまる最も適切な数字を 0 から 9 の中から選び、**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。なお、細胞膜の厚さは無視できるものとし、円周率は 3.14 とする。解答は四捨五入し小数点以下第 2 位まで求め、10 の位が必要ない場合には 0 をマークしなさい。



- (4) 図 3 のように、培養細胞に融合タンパク質 A の遺伝子を導入し、細胞膜全体に融合タンパク質 A を産生させ、細胞膜の小さな領域 Y の GFP の蛍光の強さを経時的に測定した。測定開始後、領域 Y に GFP の蛍光を減弱させる特殊な光を照射して、すぐに(約 1 秒後に)照射を止めたところ、領域 Y の GFP の蛍光の強さは図 4 の左のグラフのように変化した。つぎに、この光を領域 Y に 100 秒間連続照射し、その後照射を止めたところ、領域 Y の GFP の蛍光の強さは図 4 の右のグラフのように変化した。これらの実験結果に関する以下の(ア)～(オ)の記述のうち、内容的に正しいものは①を、誤りを含むものは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。なお、一度減弱した GFP の蛍光は回復することはない、照射した光による細胞へのダメージもないものとする。また、測定中に新たな融合タンパク質 A の産生はなく、既存の融合タンパク質 A のみを考慮するものとする。

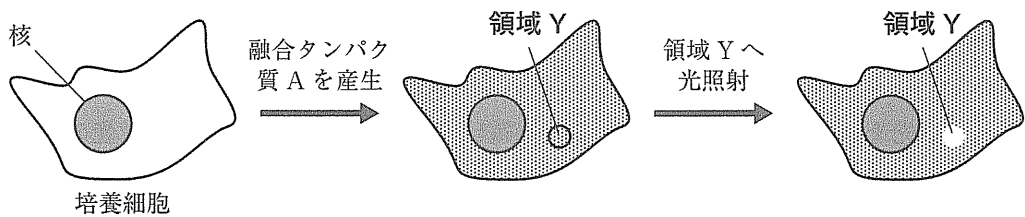


図3 融合タンパク質 A を産生させた培養細胞への光の照射実験

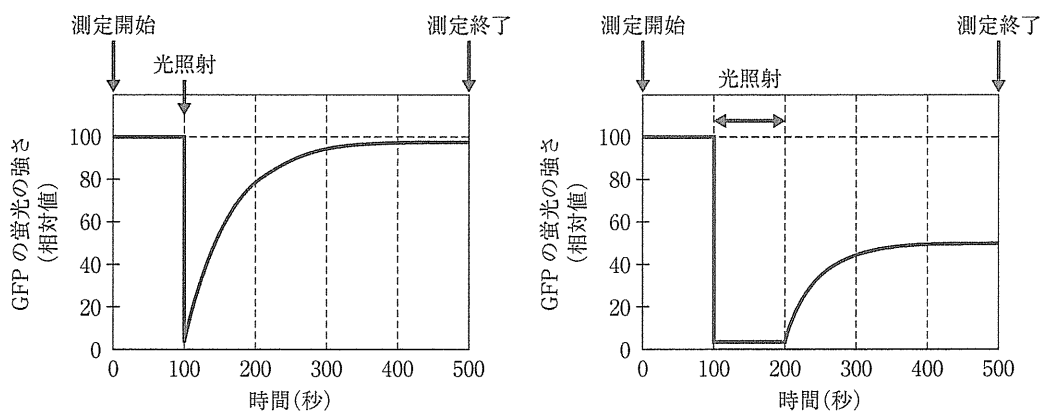


図4 (左)光の照射をすぐに止めた場合の領域 Y の GFP の蛍光の強さの経時変化。(右)光を 100 秒間連続照射した場合の領域 Y の GFP の蛍光の強さの経時変化。蛍光の強さは測定開始時を 100 とした相対値である。

- (ア) 光の照射中に、融合タンパク質 A は領域 Y の外へ移動するが、領域 Y の中への移動はない。
- (イ) 光の照射中に、領域 Y における融合タンパク質 A の移動はないが、照射を止めた後に領域 Y の中へ融合タンパク質 A が移動する。
- (ウ) 光の照射をすぐに止めた場合、領域 Y の GFP の蛍光の強さは、光の照射から 200 秒後には測定開始時の 9 割程度まで戻った。
- (エ) 細胞全体の GFP の蛍光の強さは、100 秒間の連続した光の照射により 0 近くまで減少した。
- (オ) 100 秒間の連続した光の照射中に、蛍光が减弱した融合タンパク質 A が領域 Y の外に移動し、蛍光が减弱していない融合タンパク質 A が領域 Y の中に移動した。

- (5) 図5のように、培養細胞に融合タンパク質 A の遺伝子を導入し、細胞膜全体に融合タンパク質 A を産生させた。つぎに細胞膜の小さな領域 Y に、GFP の蛍光を減弱させる特殊な光を照射し続けたまま、領域 Y の GFP の蛍光の強さと、領域 Y から離れた領域 Z の GFP の蛍光の強さを経時的に測定した。なお、領域 Y と領域 Z は十分に離れており、領域 Z に特殊な光は届かないものとする。また、一度減弱した GFP の蛍光は回復することはない、照射した光による細胞へのダメージもないものとする。さらに、測定中に新たな融合タンパク質 A の産生はなく、既存の融合タンパク質 A のみを考慮するものとする。

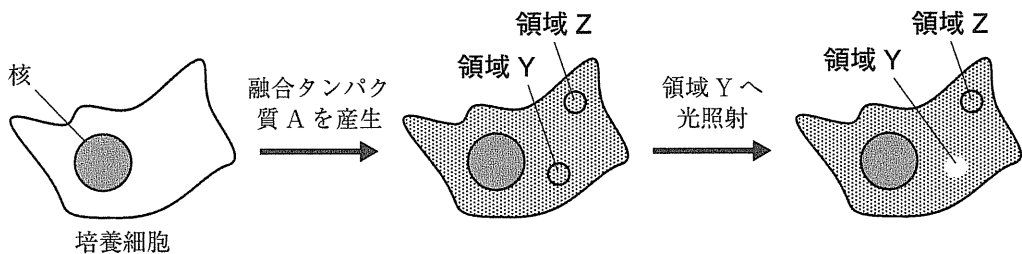
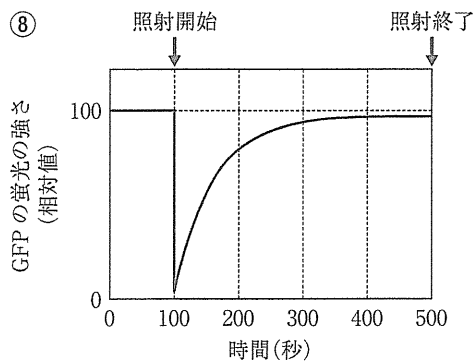
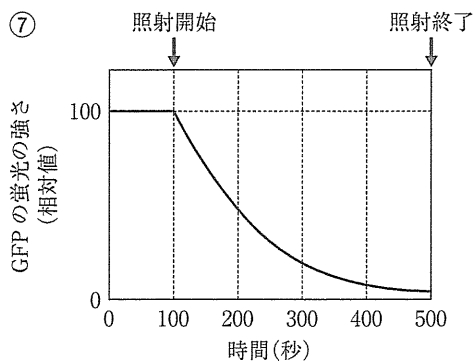
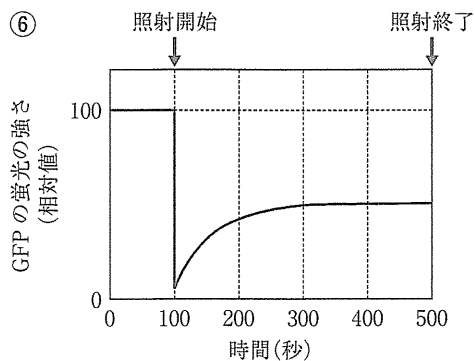
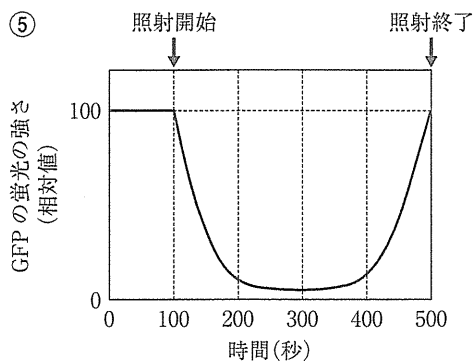
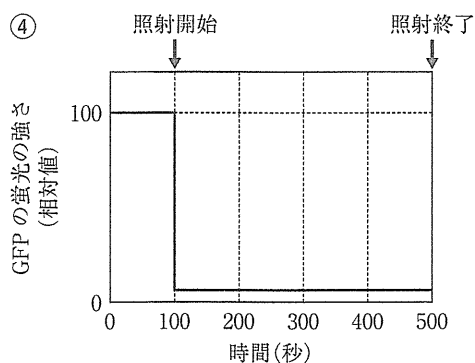
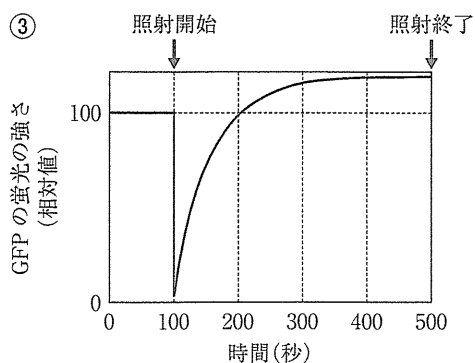
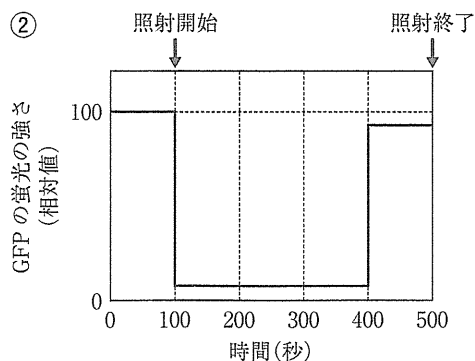
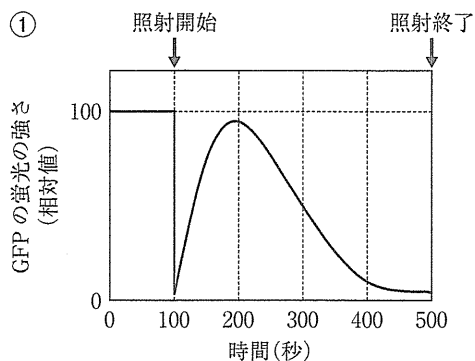


図5 融合タンパク質 A を産生させた培養細胞への光の照射実験

領域 Y に光を照射し、領域 Z の GFP の蛍光の強さを測定する。

- (A) 領域 Y の GFP の蛍光の強さの経時変化を示すグラフのうち、最も適切なものを解答群 C より選び、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。
- (B) 領域 Z の GFP の蛍光の強さの経時変化を示すグラフのうち、最も適切なものを解答群 C より選び、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。

解答群C



- (6) 赤血球の細胞膜の研究から、アクアポリンと呼ばれる膜タンパク質が発見された。アクアポリンの機能について調べるためつぎの実験を行った。実験結果をもとに設問(A)～(C)に答えなさい。

(実験 1)

アフリカツメガエルの卵母細胞に、アクアポリンをコードした mRNA を適量注入すると、その mRNA からアクアポリンが合成される。合成されたアクアポリンは、細胞膜に組み込まれることで機能を発揮する。いま、アクアポリンをコードした mRNA を 10 ナノグラム (10^{-9} グラム) 含む微量の水溶液を注入した卵母細胞と、水のみを注入した卵母細胞、および未処置の卵母細胞を用意した。それらを適切な温度に保った等張液(卵母細胞と同じ浸透圧となるように、塩化ナトリウムなど数種類の溶質で調整された水溶液)の中で静置した。72 時間後、mRNA を注入した卵母細胞にアクアポリンの存在が確認されたが、水のみを注入した卵母細胞、および未処置の卵母細胞には確認されなかった。それらの卵母細胞を、溶質の濃度が 3 分の 1 である低張液に移したあとの卵母細胞の体積 (V) について、低張液に浸す前の初期体積 (V_0) との相対値を調べたところ、図 6 のグラフ 1, 2, 3 の実線のように経時的に変化した。

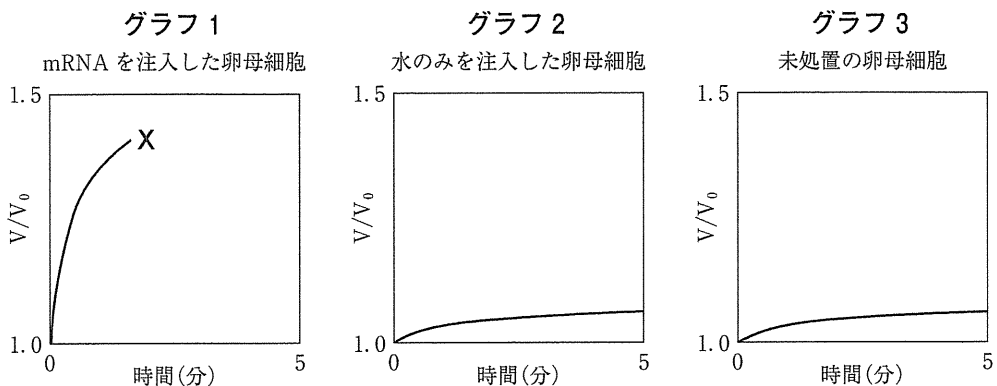


図 6 アフリカツメガエル卵母細胞の低張液中での体積変化

V は低張液中での卵母細胞の体積、 V_0 は卵母細胞の初期体積を表す。

グラフ中の X は卵母細胞が破裂したことを表す。

(実験2)

卵母細胞の体積(V)と初期体積(V_0)の相対値の経時変化から、特定の浸透圧での水分子の通りやすさに関する値 P を求めた。 P の値が大きいほど、より多くの水分子が単位時間あたりに通過することを表している。卵母細胞への mRNA の注入量を 0, 0.1, 0.5, 2, 10 ナノグラムと変えて実験1と同様の実験を行ったところ、 P の値は図7の黒色の棒グラフのようになった。また、卵母細胞1個あたりに存在するアクアポリンの数を見積もったところ、図7の白色の棒グラフのようになった。なお、細胞膜上のアクアポリン1分子あたりの P の値は常に一定である。

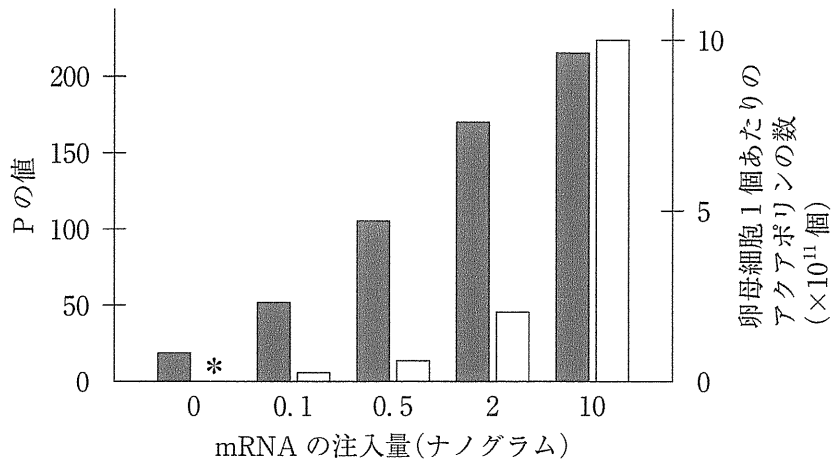


図7 mRNA の注入量に対する、卵母細胞の P の値と、卵母細胞1個あたりに存在するアクアポリンの数。*はアクアポリンが検出されないことを示す。

(実験 3)

水銀イオン(Hg^{2+})がアクアポリンのはたらきにおよぼす影響を調べるため、表 1 の㉗～㉟に示す量の mRNA を注入した卵母細胞を、適切な温度に保った等張液中で 72 時間静置し、アクアポリンを産生させた。つぎにそれらの卵母細胞を、表 1 の㉗～㉟の組み合わせとなるように、水銀イオンを含む(または含まない)等張液に 5 分間浸した。その後卵母細胞を、溶質の濃度を 3 分の 1 に低下させた低張液に移し、体積の経時変化から P の値を求めたところ、図 8 のようになった。なお、mRNA 注入から 72 時間以降に新たなアクアポリンの産生はないものとする。

表 1 mRNA の注入量と水銀イオン
濃度の組み合わせ

	mRNA の注入量 (ナノグラム)	水銀イオン 濃度[mM]
㉗	0	0
㉘	0	3
㉙	10	0
㉚	10	0.3
㉛	10	3

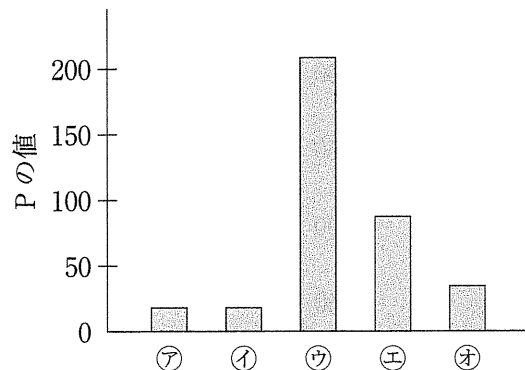


図 8 低張液中での卵母細胞の P の値

- (A) 以下の(ア)～(エ)は、実験 1 および実験 2 の結果に基づいた記述である。内容的に正しいものは①を、誤りを含むものは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) アクアポリンを介して卵母細胞に水分子が流入し、卵母細胞が破裂した。

(イ) 卵母細胞の細胞膜は水分子を通さない。

(ウ) 注入した mRNA の量と卵母細胞に存在するアクアポリンの数は、ほぼ正比例の関係にある。

(エ) 2 ナノグラムの mRNA を注入して合成されたアクアポリンのうち半分以上は正常に機能していない可能性がある。

- (B) 実験 3 において、㊦と㊩の条件で行った実験でどのようなことが示されたか、解答用紙の指定された欄に 30 字以内で記述しなさい。

- (C) 以上の実験結果から、水銀イオンの影響について述べた文章のうち、最も適切なものを解答群 D より選び、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。

解答群 D

- ① 水銀イオンはアクアポリン mRNA からの翻訳を阻害する。
- ② 水銀イオンはアクアポリン mRNA からの翻訳を促進する。
- ③ 水銀イオンはアクアポリンによる水分子の透過を阻害する。
- ④ 水銀イオンはアクアポリンによる水分子の透過を促進する。
- ⑤ 水銀イオンはアクアポリンのはたらきには影響しない。

2

DNA 複製と突然変異に関する以下の問いに答えなさい。

(34 点)

- (1) DNA 複製に関する以下の(ア)～(オ)の記述のうち、内容的に正しいものは①を、誤りを含むものは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) DNA が複製されるときには 2 本鎖が 1 本ずつに分離し、そのうちの片方の鎖だけが鋳型として用いられ、もう片方の鎖は鋳型として用いられない。そのため、このような複製の仕組みは半保存的複製と呼ばれる。

(イ) DNA の合成に用いられる 4 種類のヌクレオチドには、3つのリン酸がついているが、その一番外側のリン酸が1個だけ外れる際のエネルギーを利用して酵素反応が進む。

(ウ) 大腸菌のゲノムは1個の環状のDNAからできている。大腸菌ゲノムには2か所の複製開始点(複製起点)が存在しており、DNA複製は効率的に行われる。

(エ) DNA ポリメラーゼによる DNA 合成反応の方向は、新たに合成される鎖において 3' 末端から 5' 末端の方向である。

(オ) DNA 複製反応においては、らせんが開かれていく方向と同じ方向に連続して合成されるリーディング鎖と、らせんが開かれていく方向と逆向きに合成される不連続なラギング鎖が存在している。

(下書き用紙)

(2) DNA の修復反応に関わっており，がんの発生において重要な役割を担っている遺伝子 C の塩基配列の一部を図 1 に示した。図 2 にはそれに対応する mRNA の塩基配列を示した。図 3 には遺伝暗号表を示した。設問(A)～(E)に答えなさい。

```

5' -ATTCTTTTCCTGCTCCACAGGAAGCCGAGCTGTCTCAGACACTG
    GCATGGTGTGTTGGGGGAGGGGGTTCTTCTCTGCAGGCCAGGT
    GACCCAGGGTTGGAAGTGTCTCATGCTGGATCCCCACTTTTCCT
    CTTGCAGCA[GCCAGACTGCCTTCCGGGTCAGTCCCATGGAGGA]
    [GCCGCAGTCAGATCCTAGCGTCGAGCCCCCTCTGAGTCAGGAA]
    [ACATTTTCAGACCTATGGAAACTG]TGAGTGGATCCATTGGAAGG
    GCAGGCCCCACCACCCCCACCCCAACCCAGCCCCCTAGCAGAG
    ACCTGTGGGAAGCGAAAATTCCATGGGACTGACTTTCTGCTCTT
    GTCTTTTCAGAC[CTTCCTGAAAACAACGTTCTG]GTAAGGACAAGGG
    TTGGGCTGGGGACCTGGAGGGCTGGGGACCTGGAGGGCTGGGG
    GGCTGGGGGGCTGAGGACCTGGTCCTCTGACTGCTCTTTTACC
    CATCTACAGTCCCCCTTGCCGTCCCAAGCAATGGATGATTTGATG
    CTGTCCCCGGACGATA-3'

```

図 1 遺伝子 C のゲノム配列の一部を示した。枠で囲んでいる配列は mRNA に対応している部分を示した。塩基配列の 4 行目から始まる枠で囲まれた部分が第 1 エキソンで， 9 行目から始まる枠で囲まれた部分が第 2 エキソンである。

```

5' -GCCAGACUGC CUUCCGGGUC ACUGCCAUGG AGGAGCCGCA
    GUCAGAUCCU AGCGUCGAGC CCCUCUGAG UCAGGAAACA
    UUUUCAGACC UAUGGAAACU GCUUCCUGAA AACAAACGUUC UG-3'

```

図 2 遺伝子 C の mRNA の部分配列。10 塩基ごとにスペースを入れて示した。

2 文字目の塩基→

	U		C		A		G		
	コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸	
1 文字目の塩基↓ U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン	U
	UUC	フェニルアラニン	UCC	セリン	UAC	チロシン	UGC	システイン	C
	UUA	ロイシン	UCA	セリン	UAA	終止	UGA	終止	A
	UUG	ロイシン	UCG	セリン	UAG	終止	UGG	トリプトファン	G
C	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン	U
	CUC	ロイシン	CCC	プロリン	CAC	ヒスチジン	CGC	アルギニン	C
	CUA	ロイシン	CCA	プロリン	CAA	グルタミン	CGA	アルギニン	A
	CUG	ロイシン	CCG	プロリン	CAG	グルタミン	CGG	アルギニン	G
A	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン	U
	AUC	イソロイシン	ACC	トレオニン	AAC	アスパラギン	AGC	セリン	C
	AUA	イソロイシン	ACA	トレオニン	AAA	リシン	AGA	アルギニン	A
	AUG	メチオニン	ACG	トレオニン	AAG	リシン	AGG	アルギニン	G
G	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン	U
	GUC	バリン	GCC	アラニン	GAC	アスパラギン酸	GGC	グリシン	C
	GUA	バリン	GCA	アラニン	GAA	グルタミン酸	GGA	グリシン	A
	GUG	バリン	GCG	アラニン	GAG	グルタミン酸	GGG	グリシン	G

図3 遺伝暗号表

- (A) 遺伝子 C から転写された mRNA の部分配列(図2)において、翻訳反応が最初の開始コドンから始まるものとしたとき、翻訳が開始される最初のコドンの一番目の塩基が mRNA の 5' 末端から何番目にあたるか、以下の空欄を埋めるのに最も適した数字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、解答値が 2 桁の場合には、100 の位に 0 をマークし、解答値が 1 桁の場合には、100 の位と 10 の位に 0 をマークしなさい。

100 の位 10 の位 1 の位

(ア) (イ) (ウ) 番目

- (B) 遺伝子 C に変異が入り、転写された mRNA の部分配列(図 2)中の、翻訳が開始される最初のコドンに点変異が起きたときに、どこから翻訳が開始されるか。最初のコドンの一番目の塩基が mRNA の 5' 末端から何番目にあたるかについて、以下の空欄を埋めるのに最も適した数字を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。なお解答値が 2 桁の場合には、100 の位に 0 をマークし、解答値が 1 桁の場合には、100 の位と 10 の位に 0 をマークしなさい。該当するコドンが存在しないときには全てに 0 をマークしなさい。

100 の位	10 の位	1 の位				
<table border="1"><tr><td>(ア)</td></tr></table>	(ア)	<table border="1"><tr><td>(イ)</td></tr></table>	(イ)	<table border="1"><tr><td>(ウ)</td></tr></table>	(ウ)	番目
(ア)						
(イ)						
(ウ)						

- (C) 図 2 に示した遺伝子 C に突然変異が生じ、mRNA の塩基配列が以下のように変化した場合、翻訳にどのような影響がみられるか。**解答群 A**の中から最も適切なものを選び、**解答用マークシート**の該当する欄にその番号をマークしなさい。

- (ア) 20 番目のシトシンが欠失したとき
- (イ) 21 番目のアデニンがシトシンに変化したとき
- (ウ) 34 番目のアデニンがシトシンに変化したとき
- (エ) 43 番目のシトシンがアデニンに変化したとき
- (オ) 102 番目のシトシンが欠失したとき

解答群 A

- ① 翻訳反応の読み枠は変わらず、翻訳産物のアミノ酸も変化しない。
- ② 翻訳反応の読み枠は変わらず、変異が起きた部位のアミノ酸が変化する。
- ③ 翻訳反応の読み枠は変わり、変異が起きた部位以降のアミノ酸配列が変化する。
- ④ 終止コドンができて、翻訳は途中で停止する。

- (D) 図 1 に示した遺伝子 C の翻訳開始部位から第 1 エキシンの最後の部分までを PCR で増幅するためのプライマー配列を、**解答用紙**の指定された欄に記入しなさい。各プライマーについて最初の 10 塩基を記入すること。なお塩基配列は小文字(a, c, g, t)で記入すること。

5′										3′
5′										3′

(下書き用)

- (E) 遺伝子 C の塩基配列を 3′ 方向にさらに調べたところ、長さが 33 塩基の第 3 エキソンが見つかった。また第 3 エキシンの最後の配列は TAA であり、第 3 エキソンでは、これが最初の終止コドンであった。図 1 に示した塩基配列では第 1 エキソンと第 2 エキシンの配列が示されている。第 1 エキソン，第 2 エキソン，第 3 エキソンからなる mRNA ができたと仮定したときに、この mRNA から生産されるタンパク質の分子量はいくらか。アミノ酸の平均分子量を 128，水の分子量を 18 として計算し，以下の空欄を埋めるのに最も適した数字を**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，解答値が 3 桁の場合には，1000 の位に 0 を，解答値が 2 桁の場合には，1000 の位と 100 の位に 0 をマークし，解答値が 1 桁の場合には，1000 の位と 100 の位および 10 の位に 0 をマークしなさい。

1000 の位 100 の位 10 の位 1 の位

(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
-----	-----	-----	-----

(3) 遺伝子 D がコードしているタンパク質は、がんの発生を抑制するはたらきを有している。遺伝子 D の特定の部分(がんの発生を抑制するはたらきにおいて重要な部分、この部分を X 部位と呼ぶ)に変異が生じると遺伝子 D のがんの発生を抑制する機能は失われ、がんが多発するようになる。遺伝子 D については、X 部位以外の変異が生じてても、がんが多発する現象は観察されなかった。遺伝子 D に先天的な突然変異をもつマウスが一定の割合で存在することが分かっている。この系統のマウスの寿命は約 2 年間で、生後 2 か月ころから繁殖可能となる。また、がんの発生は生後 1 年ほど経ってからであり、変異をもつマウスは繁殖可能である。10000 匹のマウスについて、がんの有無を調べ、さらにそれらのマウスの遺伝子 D の塩基配列の解析を行った。10000 匹のマウスについて、各個体を 2 年間にわたって観察し、がんの発生の有無および遺伝子 D に生じた突然変異を解析した結果、表 1 のデータが得られた。これらの観察に関する事項に関する以下の設問(A)～(C)について、以下に示す各実験の結果から考察し、答えなさい。

表 1 がんの発生の有無と突然変異

	個体数	遺伝子 D の X 部位における 変異をもつ個体数
がんが発生したマウス	121	59
がんが発生しなかったマウス	9879	0

(実験 1) 遺伝子 D に変異が観察されたオスのマウスにおいて、がんの発生において重要な役割を果たす X 部位の塩基配列を解析してみたところ、いずれのマウスでも、野生型の配列をもつ DNA と突然変異をもつ DNA の 2 種類が観察された。

(実験 2) 表 1 の遺伝子 D に変異をもつマウスと、変異をもたないマウスをかけ合わせて生まれたマウスについて調べてみたところ、生まれたマウスの半数は、がんが発生した。

(実験 3) 実験 2 のかけ合わせによって生まれたマウスのうち、2 年間の観察において、がんが発生しなかったマウスの遺伝子 D の塩基配列を調べてみた。これらのマウスにおいては、いずれも野生型の配列をもつ DNA のみが観察された。

(実験 4) 遺伝子 D に変異が生じたことにより、がんが発生した例数は、マウスの雄雌において違いがみられなかった。

(A) 遺伝子 D の X 部位に生じた変異が、がんの発生を誘導する機能に関して優性か劣性かについて、解答群 B の中から最も適切なものを選び、解答用マークシートの該当する欄にその番号をマークしなさい。

解答群 B

- ① 遺伝子 D の X 部位に生じた変異は優性である。
- ② 遺伝子 D の X 部位に生じた変異は劣性である。
- ③ どちらとも言えない。

- (B) この実験で解析しているマウスの集団において、がんの発生をもたらすものはなにか、**解答群C**の中から最も適切なものを選び、**解答用マークシート**の該当する欄にその番号をマークしなさい。

解答群C

- ① がんの発生をもたらしているものは遺伝子Dの変異だけである。
 - ② がんの発生をもたらしているものは遺伝子Dの変異以外にも存在する。
 - ③ がんの発生をもたらしているものは遺伝子Dの変異ではない。
- (C) 遺伝子Dがどの染色体上に存在しているかについて、**解答群D**の中から最も適切なものを選び、**解答用マークシート**の該当する欄にその番号をマークしなさい。

解答群D

- ① 遺伝子Dは常染色体にある。
- ② 遺伝子DはX染色体にある。
- ③ 遺伝子DはY染色体にある。

(下書き用紙)

3

植物の光環境とその応答に関する以下の設問に答えなさい。

(33 点)

- (1) 生物を取りまく光・温度・湿度・土壌・水などの要因は生物活動に大きな影響を及ぼす。特に光は植物の光合成に欠くことができない。光は光合成に必要なエネルギー源であるだけでなく、植物の環境応答にとって重要な情報となっている。

日当たりの良い場所に生育する植物を **(ア)**，弱い光しか届かない場所に生育する植物を **(イ)** という。植物が生育するためには光補償点よりも強い光が得られる環境が必要である。弱い光の下では光補償点の低い **(ウ)** が生育に適している。

植物は光受容体とよばれる物質を数種類もっており、光に敏感に反応する。光によって植物の発生や分化の過程が調整される現象は光形態形成とよばれる。植物がもつ光受容体の1つであるフィトクロムは赤色光と遠赤色光を認識する。一方、フォトトロピンとクリプトクロムは青色光を認識する光受容体である。日長が一定以上になると花芽を形成する植物を長日植物といい、一定以下になると花芽を形成する植物を短日植物という。花芽形成に影響を与えるのは連続した **(エ)** の長さである。日長の感知は葉のフィトクロムなどが関与する。

フロリゲンは植物の葉で合成され、これが師管を通過して **(オ)** に運ばれて、ここで花芽形成を促す。フロリゲンはホルモン機能を有するタンパク質である。シロイヌナズナでは FT タンパク質が、イネでは Hd3a タンパク質などがフロリゲンとして機能する。

林冠が閉鎖した森林の林床のような環境では、地面近くに届く光のうち赤色光や青色光が少なくなり、相対的に遠赤色光の割合が高くなる。このような状態の植物では、茎の伸長促進、頂芽優勢の強化、葉の展開の抑制、花芽形成の促進などが起こる。このような反応を避陰反応とよぶ。

- (A) 本文中の(ア)～(オ)に当てはまる最も適切な語句を解答群 A より選び、解答用マークシートにその番号をマークしなさい。なお、同じ番号を複数回選んでよい。

解答群 A

- ① 照葉樹 ① 陽生植物 ② 陰生植物 ③ 熱帯植物
④ 中心柱 ⑤ 明期 ⑥ 暗期
⑦ コルメラ始原細胞 ⑧ 根端分裂細胞 ⑨ 茎頂分裂組織

(B) 本州の関西から関東地方で春(3月～5月)に花が咲く植物の組み合わせはどれか。(ア)～(オ)のうち、正しい組み合わせのものは①を、誤りを含む組み合わせのものは②を選び、**解答用マークシート**にその番号をマークしなさい。

- (ア) ハナモモ(モモ), ヤマユリ, リンドウ, キキョウ
(イ) カントウタンポポ, ソメイヨシノ(サクラ), ハマギク, コスモス
(ウ) ホトケノザ, カラスノエンドウ, セイヨウナタネ, シロツメクサ
(エ) アジサイ, サザンカ, ムラサキツユクサ, セイタカアワダチソウ
(オ) ハナミズキ, ヒメジオン, タチツボスミレ, ミヤマキリシマ(ツツジ)

(C) 様々な植物が茂る環境では、陰に入った植物は避陰反応が起こる。この反応に関与する以下の事象を述べた(ア)～(オ)のうち、正しいと思われるものは①を、誤りを含むものは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**にその番号をマークしなさい。

- (ア) 赤色光は光合成をする日なたの植物のクロロフィルにより吸収されるために、陰になった植物に届く光は遠赤色光の割合が多くなる。
(イ) 木陰の植物ではサイトカイニンが増加し、茎の伸長促進が誘導される。
(ウ) 植物の緑葉は届いた赤色光と遠赤外光の割合を Pfr 型と Pr 型のフィトクロムの量比として認識する。
(エ) 避陰反応は光補償点が高い植物では起こらない。
(オ) Pfr 型のフィトクロムは活性型のフィトクロムであり、核に移動して遺伝子の転写に関与する。

(2) 山火事や森林伐採などにより地表面の植物が除去された場所は、最初に乾燥に強い地衣類やこけ植物が進入することが多い。これらはパイオニア種とよばれる。やがて草本植物が進入し、草原を形成する。その後、低木林が形成されるようになる。さらに高木からなる陽樹林が成立する。その結果、林床は暗くなり、下層部では陰樹が優勢となる。やがて陽樹と陰樹が混ざった混交林となり、最終的には陰樹林を形成して安定する。

(A) 地衣類を説明する記述のうち正しいものはどれか。①～⑤のうちもっとも適切なものを示すものの番号を選び、**解答用マークシート**にその番号をマークしなさい。

- ① 担子菌や子のう菌類とシダ植物が共生したもの
- ② 担子菌や子のう菌類と緑藻類やシアノバクテリアが共生したもの
- ③ 担子菌や子のう菌類と窒素固定細菌が共生したもの
- ④ 古細菌と光合成を行う様々な種の原生生物が共生したもの
- ⑤ 細菌類と緑藻類やシアノバクテリアが共生したもの

(B) 本州から九州において、火山活動などにより植生が破壊されたときに起こる植生の一次遷移の順番を示すものはどれか。①～⑤のうちもっとも適切なものを示すものの番号を選び、**解答用マークシート**にその番号をマークしなさい。

- ① 地衣類→ススキ→スダジイ→アカマツ→メタセコイヤ→ヤマツツジ
- ② 地衣類→ススキ、チガヤ→ヤマツツジ→アカマツ→スダジイ、アラカシ
- ③ 地衣類→アカマツ→セイタカアワダチソウ→ヤマツツジ→クロマツ
- ④ 地衣類→アカマツ→スダジイ→ヤマツツジ→ススキ、チガヤ
- ⑤ 地衣類→セイタカアワダチソウ→チガヤ→ヤマツツジ→ススキ

(3) 稲作はおよそ 2000 年前に日本に伝えられた。関東地方では、通常は 4 月に種をまいて発芽させ、苗を作って、5 月上旬に田植えをする。関東地方で多く栽培されているイネ(たとえばコシヒカリ)は 7 月下旬に穂が出て(出穂という)、花が咲き、9 月半ばに収穫する。イネの穂は最後の葉(止め葉という)の葉鞘(葉の下部)から顔をのぞかせる。通常は止め葉ができてから出穂するまでおよそ 1 ヶ月かかる。この間に花芽が形成される。7 月下旬に出穂するためには 6 月下旬に花芽形成が始まっていることになる。

(A) 図 1 は(ア)北海道道央, (イ)北関東, (ウ)沖縄の日長時間(日の出～日没)の推移を示す図である。この図から 6 月半ばの(ア)～(ウ)のそれぞれの地域の日長を読み取り、解答群 B よりもっとも適当な時間数を選び、解答用マークシートにその番号をマークしなさい。

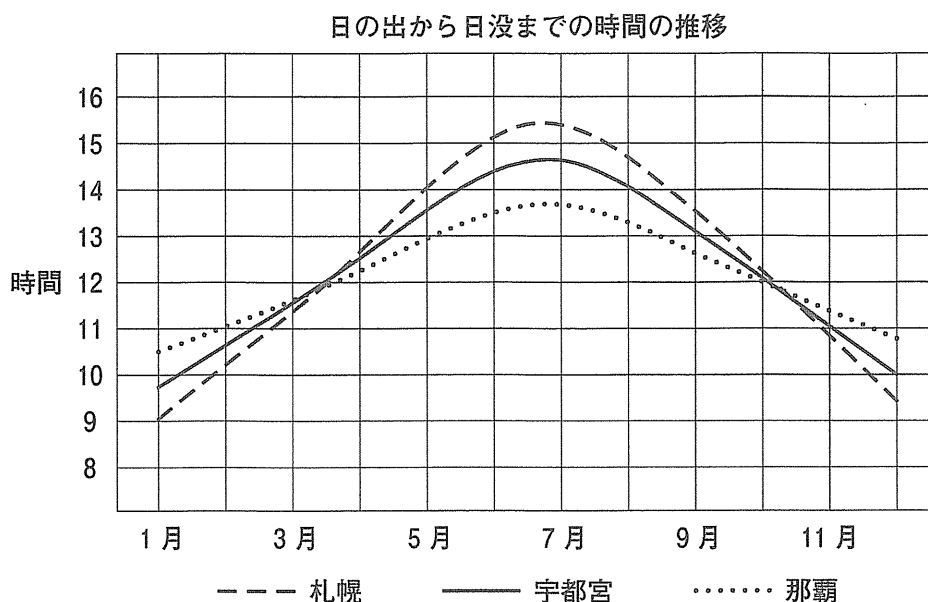


図 1 札幌, 宇都宮, 那覇の日長時間を示す。

横軸の目盛りはそれぞれの月始めを表している。

解答群 B

- | | | | |
|---------|-----------|---------|-----------|
| ① 11 時間 | ④ 11.5 時間 | ⑦ 12 時間 | ⑩ 12.5 時間 |
| ② 13 時間 | ⑤ 13.5 時間 | ⑧ 14 時間 | ⑪ 14.5 時間 |
| ③ 15 時間 | ⑥ 15.5 時間 | | |

(B) イネにはフロリゲン遺伝子である Hd3a と構造的な類似性を示す別の遺伝子(RFT1)が存在することがわかった。また、これらの遺伝子はともに緑葉で発現し、産生したタンパク質は細胞外に出て別の細胞へ移行することがわかった。これらの2つの遺伝子発現の光応答性を調べた。日本国内で一般的に栽培されているイネ品種 A を、長日の光条件で発芽後から1ヶ月間栽培し、その後、12時間から15時間までのさまざまな長さの連続した光を与える日長環境で育てた。その結果、Hd3a 遺伝子、RFT1 遺伝子ともに日長により発現量が増加することがわかった(図2)。

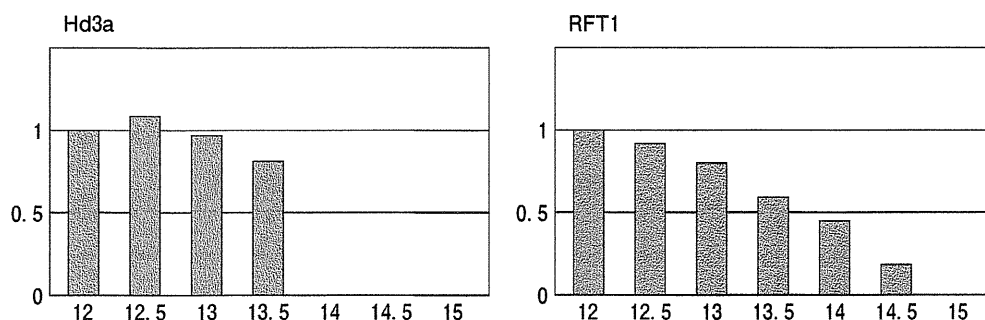


図2 Hd3a、RFT1 遺伝子の発現量と日長時間の関係。

横軸は栽培環境において連続して与えられた日長の時間を、縦軸はそれぞれの遺伝子の発現量(mRNAの量)を示す。縦軸の数値は12時間の時の値を1としたときの相対値を表す。

このことからどういうことがいえるだろうか。(ア)～(オ)のうち、正しいと思われるものは①を、誤りを含むものは②を、どちらもいえないものは③を選び、解答用マークシートにその番号をマークしなさい。

- (ア) Hd3a 遺伝子、RFT1 遺伝子は、ともに短日条件で遺伝子発現が抑制される。
- (イ) Hd3a 遺伝子の限界暗期は10～10.5時間である。
- (ウ) RFT1 遺伝子の限界暗期は14.5～15時間である。
- (エ) Hd3a 遺伝子は日長に応答した遺伝子発現の制御が起こっている。
- (オ) RFT1 遺伝子は日長に応答した遺伝子発現の制御が起こっていない。

(C) イネ品種 B(野生型)に Hd3a 遺伝子および RFT1 遺伝子に対する RNAi がはたらくようにした形質転換体を作製した。形質転換体(遺伝子組換え植物)は閉鎖的な環境で育てる必要があるため、これらの形質転換体を関東地方の大学の構内に設置したガラス温室の中で自然光(太陽光)の光条件で栽培した。これらの植物を 5 月上旬より栽培を開始したところ、いずれも正常に生育した。これらのうち、Hd3a 遺伝子に対する RNAi を導入し、この遺伝子の発現を抑制した形質転換体は、野生型植物と同様の時期(8 月上旬)に出穂した。一方、RFT1 遺伝子に対する RNAi を導入してこの遺伝子の発現を抑制した形質転換体を作製し、同様の条件で栽培したところ、この植物は 10 月上旬に出穂し、野生型植物よりも明らかに出穂時期の遅れが認められた。さらに、RNAi により Hd3a 遺伝子と RFT1 遺伝子の両方の遺伝子の発現を抑制した形質転換体は、秋になっても出穂することはなかった。

この実験からどういうことがいえるだろうか。(ア)~(オ)のうち、正しいと思われるものは①を、誤りを含むものは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にその番号をマークしなさい。

- (ア) Hd3a, RFT1 は、ともにフロリゲンとして機能する。
- (イ) Hd3a はフロリゲンとして機能するが RFT1 は機能しない。
- (ウ) RFT1 はフロリゲンとして機能するが Hd3a は機能しない。
- (エ) この栽培条件では、イネ品種 B の Hd3a はフロリゲンとしてあまり重要な役割をしていない。
- (オ) この栽培条件では、イネ品種 B の RFT1 はフロリゲンとしてあまり重要な役割をしていない。

(4) 詳しい解析の結果、イネの葉では図3に示すような関係で開花に関する遺伝子群の発現が制御されていることがわかった。すなわち、光受容体が日長に関するシグナルを受容し、これをシグナルとして受け取った様々な遺伝子が日長に応答した発現をする。これらの遺伝子には Ghd7, Hd16, Hd1 などがある。これらの遺伝子は別の遺伝子の機能制御に関わる。長日条件では、Ghd7 タンパク質は Ehd1 の遺伝子発現を抑制する。Hd16 タンパク質は長日条件では機能せず、短日条件で Ghd7 の機能を抑える。そのため、Ghd7 は Ehd1 遺伝子の発現を抑制することができなくなる。Ehd1 は Hd3a と RFT1 の発現を促進する。Hd1 は長日条件では Hd3a の発現を抑制し、短日条件では発現を促進する。

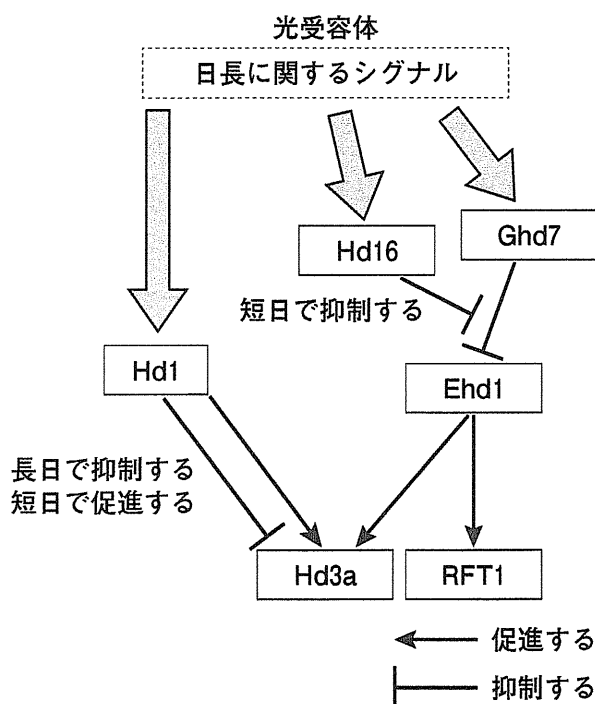


図3 イネの開花に関する遺伝子発現制御のネットワークの概略図。光受容体により日長が感受され、その情報が様々なタンパク質の作用により伝えられ、遺伝子発現が制御される。日本で栽培されているイネはこれらの遺伝子のうち、いくつかで変異が生じていることが明らかとなっている。

(A) Ghd7 遺伝子に対する RNAi がはたらくようにした形質転換体を作製した。

この遺伝子の発現が抑制された形質転換体では、ある程度の大きさに育ったら、日長にかかわらず開花が誘導された。一方、Ehd1 遺伝子に対する RNAi を導入し、この遺伝子の発現を抑制した形質転換体を、前項の Hd3a 遺伝子および RFT1 遺伝子に対する RNAi をはたらかせた形質転換体と同様の条件で栽培したところ、この形質転換体は 10 月上旬に出穂した。これとは別に、恒常的な発現をするプロモーターを用いて Ehd1 遺伝子を発現させた形質転換体(過剰発現形質転換体)を作製し、同じ条件で栽培したところ、この形質転換体は Ghd7 遺伝子の発現を抑制した形質転換植物と同様に、ある程度の大きさに育ったら、日長にかかわらず開花が誘導された。

このことからどういうことがいえるだろうか。(ア)~(オ)のうち、正しいと思われるものは①を、誤りを含むものは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にその番号をマークしなさい。

(ア) Ghd7 がはたらかないときは Hd3a だけがフロリゲンとして機能する。

(イ) Ghd7 はフロリゲンとして機能する。

(ウ) Ghd7 がはたらかないと中性植物となる。

(エ) Ehd1 が恒常的にはたらくときは Ghd7 がはたらかなくても出穂する。

(オ) Ehd1 がはたらかないときは Hd1 が開花時期を制御する。

(B) Hd16 の塩基配列を調べたところ、イネ品種 A では Hd16 の塩基配列に置換が生じており、これにより Hd16 の機能が変化していることが分かった。イネ品種 A は、変異が起こっていないイネに比べて数日～数週間早く出穂する早生品種であることが知られている。このことから長日条件でのイネ品種 A ではどういうことが起こっているといえるだろうか。(ア)～(オ)のうち、正しいと思われるものは①を、誤りを含むものは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**にその番号をマークしなさい。

- (ア) 品種 A では Hd16 が Ghd7 の機能を抑制する能力が弱くなった。
- (イ) 品種 A では Hd16 が Ghd7 の機能を抑制する能力が強くなった。
- (ウ) 品種 A では Ghd7 による Ehd1 の発現抑制が弱くなった。
- (エ) 品種 A では Ghd7 による Ehd1 の発現抑制が強くなった。
- (オ) 品種 A では Ehd1 による RFT1 の発現促進が強くなった。

(5) 北海道でイネが栽培できるようになったのは、割と最近のことである。北海道では、春が遅く、冬の訪れが早いいため、短期間で栽培を終えなければならない。そのため、特殊な形質をもったイネが栽培されている。

(A) 本州中央部で多く栽培されているコシヒカリを北海道の道央地方で栽培した場合、どのようなことが起こるだろうか。関東地方と同じ時期(5月)に田植えをした場合、いつごろに出穂すると予想されるだろうか。花成誘導から出穂までが1ヶ月であるとし、関東地方と同等の気温となるように温度管理した温室で自然光のもとで育てた場合に、予想される出穂時期としてもっとも適当と思われるものを**解答群C**より選び、**解答用マークシート**にその番号をマークしなさい。

解答群C

- | | | |
|----------------------------|-------|---------|
| ① 6月より早い | ① 6月 | ② 7月 |
| ③ 8月 | ④ 9月 | ⑤ 10月 |
| ⑥ 11月 | ⑦ 12月 | ⑧ 出穂しない |
| ⑨ 時期が一定せずある程度の大きさになったら出穂する | | |

(B) 北海道では一般的に5月下旬～6月上旬に田植えをする。これらは8月中旬に出穂し、9月下旬に刈り取られることが多い。北海道で一般的に植えられているイネ品種Cを関東地方で栽培した。5月に田植えをしたところ、7月上旬に出穂した。一方、これを6月に田植えをしたときは、8月中旬に出穂した。イネ品種Cについて述べられている(ア)～(オ)のうち、正しいと思われるものは①を、誤りを含むものは②を選び、解答用マークシートにその番号をマークしなさい。

- (ア) 品種CではHd16の機能が失われる変異が生じている。
- (イ) 品種CではGhd7の機能が失われる変異が生じている。
- (ウ) 品種CではEhd1の機能が失われる変異が生じている。
- (エ) 品種CではHd3aの機能が失われる変異が生じている。
- (オ) 品種CではRFT1の機能が失われる変異が生じている。

