

# 理 科 (生 物)

(理 学 部)

(令 和 7 年 度)【後期日程】

問題冊子 1～18 ページ

答案用紙 6 枚

## 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまでこの冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子や答案用紙に、枚数の不足や印刷不鮮明なところがあれば申し出ること。
3. 解答は必ず答案用紙の指定された箇所に記入すること。  
なお、注意事項が問題の冒頭にあるので、試験開始後よく読んでから解答すること。
4. 受験番号は、答案用紙1枚ごとに所定の欄2か所に必ず記入すること。記入を忘れたり、誤った番号を記入した場合は失格となることがある。
5. 試験が終了したら、答案用紙を上から(その1)、(その2)…の順番に重ねて机の上に置くこと。
6. 退室するときは、問題冊子を持ち帰ること。

注意 1. ①②③の全問を解答せよ。

注意 2. 解答はすべて答案用紙の所定の欄に記入せよ。

① 次の文1と文2を読み、問1～12に答えよ。

### 文1

すべての細胞は、細胞分裂によって生じる。細胞分裂には、からだをつくる細胞が増えるときに行われる ア 分裂と、生殖細胞をつくるときに行われる減数分裂がある。 ア 分裂によってできた細胞が、再び2つの細胞に分裂するまでの一連の過程を細胞周期という。細胞周期は、分裂が行われる 分裂期(M期)と、分裂が終了してから次の分裂が始まるまでの イ 期<sup>(1)</sup>に分けることができる。さらに イ 期は  $G_1$  期、S期、 $G_2$  期に分けること<sup>(2)</sup>ができる。

日本人の死因の第一位であるがんは、分裂が制御されなくなった細胞が異常に増殖して腫瘍を形成し、さらに周囲の組織に転移を起す病気である。<sup>(3)</sup> 肺や肝臓、胃、脳などでがん細胞が生じたり、転移したりして増殖すると、それらの器官が正常に働かなくなることで死に至ることがある。がんを発症する複数<sup>(4)</sup>の要因が知られているが、細胞周期の研究はがん発症の原因究明や、予防・治療方法の発見に大きく関わっている。

- 問 1. 文の空欄  ~  にあてはまる最も適切な語句を答えよ。
- 問 2. 下線部(1)について、分裂期はさらに前期、中期、後期、終期に分けることができる。それぞれ細胞内で何が起こるか、答えよ。
- 問 3. 下線部(2)について、S 期には細胞内で何が起こるか、答えよ。
- 問 4. 下線部(3)について、何が原因で分裂に異常が生じると考えられるか、答えよ。
- 問 5. 下線部(4)について、細胞分裂が活発な器官と活発ではない器官がある。活発な器官を 1 つあげ、なぜ活発であるかその理由を答えよ。

## 文 2

がんの治療は人類が抱える重要な課題の一つであり、新しい治療法や薬剤の開発が絶えず進められている。新たに開発された薬剤 A が、がん細胞にどのような影響を及ぼすかを評価するために、以下の実験 1～3 を行った。

### 【実験 1】

がん細胞を 2 つのシャーレに分け、片方には薬剤 A を添加して培養し、もう片方には薬剤 A を添加せずに培養した。6 時間ごとに細胞数を計測し、48 時間まで培養を続けた。以下がその計測結果である(図 1)。

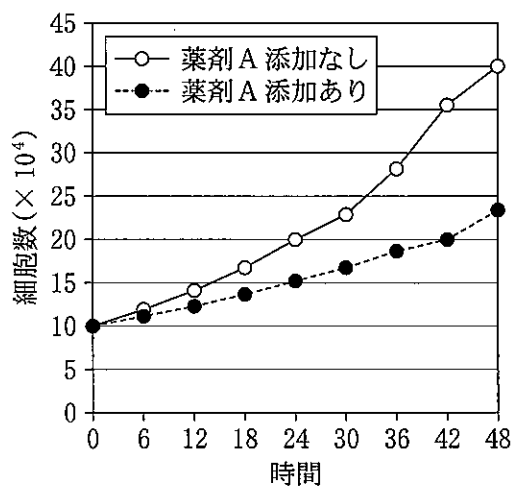


図 1. 各培養時間における細胞数の計測結果

【実験 2】

薬剤 A を添加せず 48 時間培養した細胞を回収し、DNA 結合色素を使って DNA を染色した。次に、フローサイトメーターという機器を使って、個々の細胞に含まれる DNA 量を測定した。以下は、細胞内の DNA 量とそれぞれの細胞数を表した結果である(図 2)。

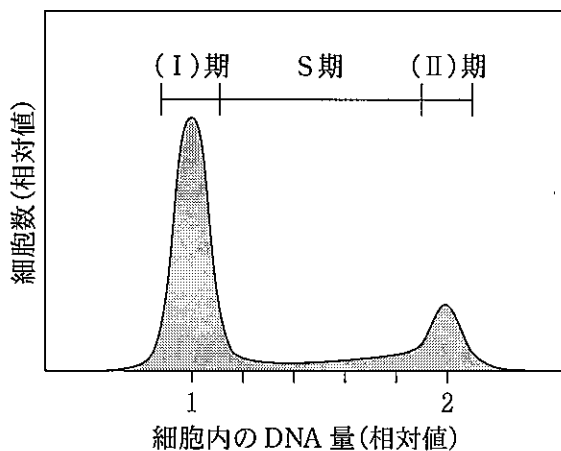


図 2. 薬剤 A を添加せず 48 時間培養した細胞の DNA 量と細胞数

【実験 3】

実験 2 と同様の方法で、薬剤 A を添加せず 48 時間培養した細胞と、薬剤 A を添加して 48 時間培養した細胞の DNA 量とそれぞれの細胞数を測定し、各期の割合を示した(図 3)。

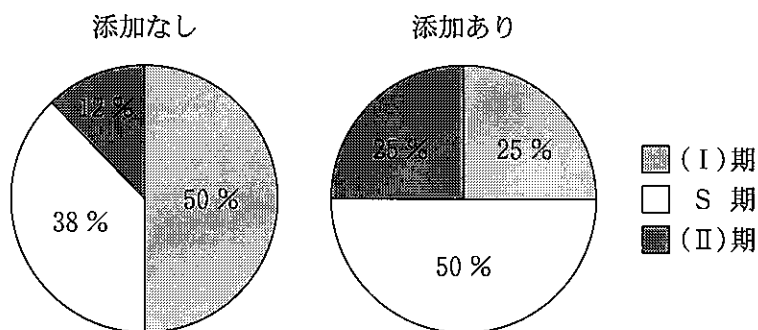


図 3. 薬剤 A を添加した場合と添加しなかった場合の各期の割合

- 問 6. 実験 1 の結果から、薬剤 A を添加しなかった場合、がん細胞の細胞周期は何時間であるか、答えよ。
- 問 7. 実験 1 の結果から、薬剤 A を添加することで、がん細胞の細胞周期は何倍変化したか、短くなったか長くなったかも含め答えよ。
- 問 8. 実験 2 の結果の (I) 期、(II) 期は  $G_1$  期または  $G_2/M$  期である。(I) 期はどちらか、理由とともに答えよ。
- 問 9. 実験 1 と実験 3 の結果から、薬剤 A を添加しなかった細胞と薬剤 A を添加した細胞の S 期はそれぞれ何時間か、その理由も含め答えよ。
- 問10. 実験 1 と実験 3 の結果から、薬剤 A はどのような仕組みでがん細胞の増殖を抑制していると考えられるか、答えよ。
- 問11. 薬剤 A は細胞内のどのようなタンパク質に作用すると考えられるか、その名称を答えよ。
- 問12. 薬剤 A を生体に投与した場合にどのような副作用が生じると考えられるか、答えよ。



2 次の文1と文2を読み、問1～11に答えよ。

文1

自然界には約90種類の元素が存在するが、生体を構成する元素は約20種類と意外に少ない。タンパク質、脂質、炭水化物、核酸は、共通した3種類の元素から構成されており、<sup>(1)</sup> それに加えて、一般的にタンパク質と核酸には 、核酸と脂質には 、タンパク質には  が含まれる。水に溶けてイオンとして存在するナトリウム、カリウム、カルシウムなどの元素は、興奮の伝達や、筋収縮などのさまざまな生命活動に関与している。<sup>(2)</sup> 鉄、<sup>(3)</sup> 亜鉛、銅、マンガンなどの微量元素は、細胞内でタンパク質と結合してその生理機能を果たすことが多い。たとえば、アルコール発酵の過程で働くアルコール脱水素酵素は亜鉛を結合し、呼吸の電子伝達系の末端に位置するシトクロムc酸化酵素は鉄と銅を結合して、それぞれ酸化還元反応を触媒している。<sup>(4)</sup><sup>(5)</sup>

セレンは、セレノシステインという特殊なアミノ酸残基の一部としてタンパク質中に組み込まれる点で、他の微量元素と異なっている。セレノシステインはシステインとよく似ているが、その側鎖には  ではなくセレン原子が含まれている。セレノシステインを含むセレントタンパク質は細菌からヒトまで幅広い生物種に見られ、セレントタンパク質の mRNA では、通常は終止コードンとして認識される UGA がセレノシステインとして翻訳される。ゆえに、セレノシステインは遺伝暗号により規定される21番目のアミノ酸と言える。

問1. 下線部(1)について、これらの3種類の元素の名称を答えよ。

問2. 文の空欄  ~  にあてはまる元素の名称を答えよ。

問 3. 下線部(2)について、ニューロンにおいて静止電位と活動電位を発生させるナトリウムイオンとカリウムイオンの挙動に関して、正しく述べている文章を、以下の(a)~(d)から1つ選択せよ。

- (a) 静止状態のニューロンでは、主にナトリウムポンプの働きにより、細胞内では細胞外に比べてカリウムイオン濃度が低く、ナトリウムイオン濃度が高く保たれている。
- (b) 静止状態のニューロンでは、カリウムチャネルを通して、カリウムイオンが細胞外に流出する。これによって細胞の内側が外側に対して負となる静止電位が生じている。
- (c) ニューロンが刺激を受けると電位依存性ナトリウムチャネルが開き、細胞外へナトリウムイオンが流出することで膜電位が変化して活動電位が発生する。
- (d) 活動電位の発生後に電位依存性カリウムチャネルが開き、カリウムイオンが細胞内に流入することで、膜電位はもとの静止電位に戻る。

問 4. 下線部(3)について、興奮が筋繊維に伝達されると、筋小胞体からカルシウムイオンが放出され、筋収縮を調節することが知られている。カルシウムイオン濃度が低い場合、および高い場合に、筋繊維はそれぞれどのような状態であるのか、以下の語をすべて用いて説明せよ。

アクチンフィラメント、ミオシン、トロポニン、トロポミオシン

問 5. 下線部(4)のアルコール脱水素酵素は、アルコール発酵の過程において、ピルビン酸が脱炭酸されて生じたアセトアルデヒドを、還元型補酵素を用いて還元し、エタノールに変換する。この還元型補酵素の名称を答えよ。また、この反応は、解糖系にどのような役割を果たしているか答えよ。

問 6. 下線部(5)のシトクロム *c* 酸化酵素は、電子伝達系においてどのような酸化還元反応を触媒しているか答えよ。

## 文 2

どのようにして同じ生物の中で、ひとつのコドンがある時は終止コドンになり、ある時はセレノシステインを指定するコドンになることができるのだろうか。大腸菌のセレンタンパク質の一つにギ酸脱水素酵素がある。その遺伝子 *fdhF* の mRNA を調べたところ、UGA コドンに引き続き、ステム・ループと呼ばれる特徴的な構造が形成されることがわかった(図 1)。以下の実験 1 により、このステム・ループ構造は、UGA をセレノシステインのコドンと認識するために必要であることがわかった。

セレノシステインには、専用の tRNA が存在する。セレノシステインを結合した tRNA は、SelB タンパク質によって、セレンタンパク質を合成中のリボソームへ送り込まれる。セレンタンパク質の mRNA に存在するステム・ループ構造は、SelB の結合部位として働くことが後に明らかになった。

### 【実験 1】

*fdhF* 遺伝子を図 1 内の矢印で示した様々な位置まで右側から削り込み、コドンの読み枠がずれないように、 $\beta$ -ガラクトシダーゼの遺伝子 *lacZ* と接続して、8 種類の *fdhF-lacZ* 融合遺伝子を作製した。図 2 には、そのうち 3 種類の *fdhF-lacZ* 融合遺伝子を示す。これらの融合遺伝子が大腸菌に導入すると、通常の遺伝子と同様、転写および翻訳が行われる。翻訳は、*fdhF* 冒頭の AUG から始まり、途中で終止コドンがなければ、*lacZ* の終止コドンまで続く。 $\beta$ -ガラクトシダーゼの活性を測定することにより、*lacZ* 遺伝子が大腸菌内でどれだけ転写および翻訳されたかを知ることができる。図 3 のグラフは、各融合遺伝子を導入した大腸菌株の  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性を示したものである。

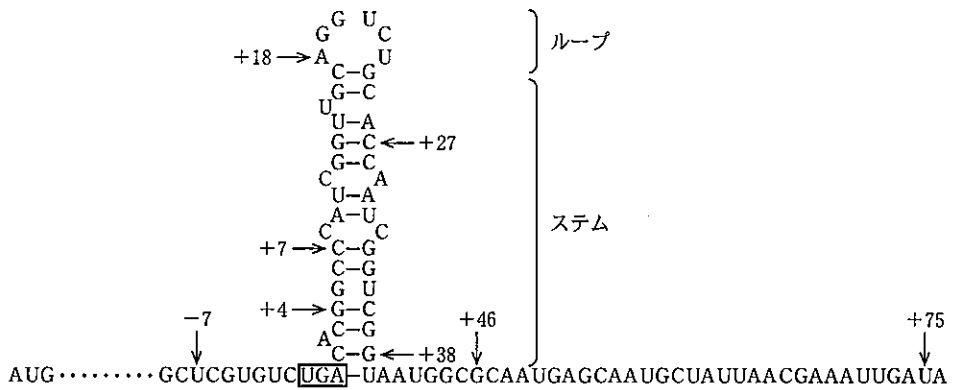


図 1. *fdhF* mRNA に見られるステム・ループとその周辺の構造。セレノシステインを指定する UGA を四角で囲い、その 1 つ前の塩基を -1, 1 つ後の塩基を +1 として位置を図中の数字で表している。矢印は、各 *fdhF-lacZ* 融合遺伝子における *fdhF* の末端部分を表す。塩基対をつなぐ線は水素結合を表す。

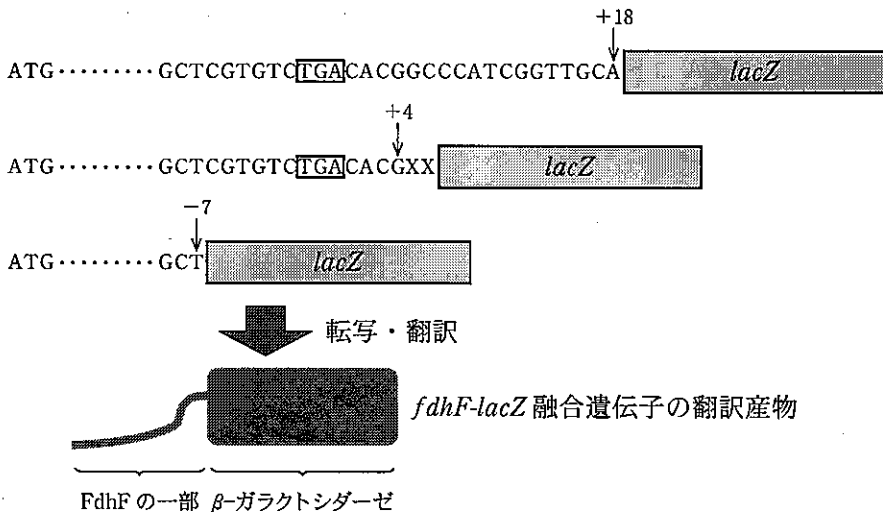


図 2. *fdhF-lacZ* 融合遺伝子とその翻訳産物の模式図。*fdhF* 遺伝子を図 1 の矢印で示したそれぞれの位置まで削り込み、コドンの読み枠を合わせてレポーター遺伝子 *lacZ* と接続した。セレノシステインを指定する TGA を四角で囲み、読み枠を合わせるために付加した塩基を X で示している。なお、この図では DNA 二本鎖の一方の塩基配列のみを示している。

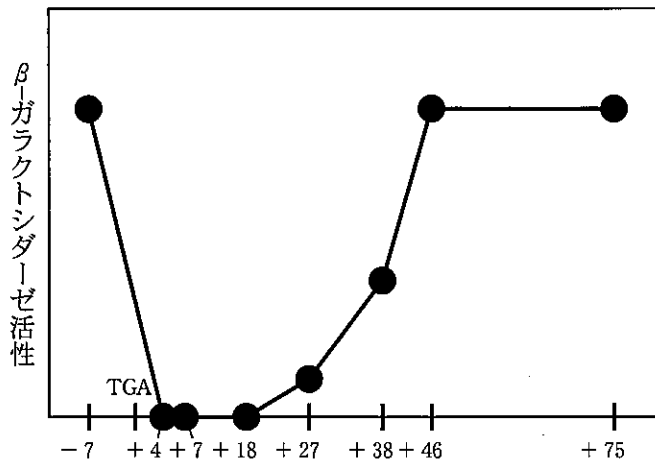


図3. 各 *fdhF-lacZ* 融合遺伝子を導入した大腸菌株の  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性。横軸の数字は、図1に矢印で示した各融合遺伝子の *fdhF* 部分の末端の位置を表している。

問7. 図3に示した  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性について以下の問いに答えよ。その際、UGA コドンの働きに着目すること。

- (I) 「-7」まで *fdhF* を削り込んだ場合に、高い活性が検出されたのはなぜか。
- (II) 「+4」まで *fdhF* を削り込んだ場合に、活性が消失したのはなぜか。
- (III) 「+18」から「+46」まで *fdhF* 領域を延長するにつれて、活性が回復していったのはなぜか。

問8. UGA をセレノシステインのコドンと認識するために、特定の塩基配列ではなく、ステム・ループという構造が必要であることを示すためには、*fdhF-lacZ* 融合遺伝子を用いてどのような実験を行えばよいだろうか。一例をあげよ。

問9. tRNA の中で、mRNA のコドンと相補的に結合する塩基3個の配列を何と呼ぶか答えよ。また、セレノシステイン専用の tRNA についてその塩基3個の配列を5'側から記せ。

問10. セレノシステイン専用の tRNA をもたない大腸菌変異株に、実験1で作製した8種類の *fdhF-lacZ* 融合遺伝子を導入した場合、 $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性はそれぞれどのようになると考えられるか、図3にならって解答用紙中の図に記入せよ。

問11. 実験1で合成された *fdhF-lacZ* 融合遺伝子の翻訳産物には、実際にセレンが取り込まれているのだろうか。このことを調べるため、各融合遺伝子を導入した大腸菌株を、セレンの放射性同位体である  $^{75}\text{Se}$  を加えた培地で培養し、*fdhF-lacZ* 融合遺伝子の翻訳産物に含まれる  $^{75}\text{Se}$  由来の放射能を測定した。この実験において、*fdhF-lacZ* 融合遺伝子中の *fdhF* を以下に示す位置まで削り込んだ場合、その翻訳産物1分子から検出される放射能レベルはどのようなになると考えられるか。「+75」まで *fdhF* を削り込んだ *fdhF-lacZ* 融合遺伝子の翻訳産物1分子から検出される放射能レベルを1とした場合の相対値で答えよ。

- (I) 「-7」            (II) 「+18」            (III) 「+27」            (IV) 「+38」

3 次の文1と文2を読み、問1～12に答えよ。

文1

地球に生命が誕生して以来、多様な生物が進化してきた。このように生物が多様であることは、遺伝情報、すなわちゲノムが多様であることを意味する。ゲノムにある遺伝子のDNA配列は、同じ種でも異なる部分があり、それらが各部の形態や酵素の働き方などの形質の違いに影響する。このようなゲノムの多様性はDNAの塩基配列の突然変異によって生じる。突然変異が生殖の過程で生じた場合、その変異が次世代に伝えられ、さらに集団内に広がっていくことで、種そのものが変化するような進化が起きる。

生物の生殖は、無性生殖と有性生殖に分けられる。無性生殖によって生じた子は親と全く同じ遺伝情報をもっている。一方で、有性生殖では異なる個体の配偶子が合体することで新しい個体ができるため、親とは遺伝的に異なる個体が生じる。したがって、新しい性質をもつ個体を作り出すには有性生殖の方が有利である。

被子植物の有性生殖においては、成熟した花粉がめしべの柱頭につくと、発芽して花粉管が生じ、花粉管から放出された精細胞と胚の中の卵細胞が受精する。この時、核に存在する遺伝物質(核ゲノム)が両親から半分ずつ子に引き継がれる。

問 1. 下線部(1)について、同じ種の中で見られるゲノムの多様性の多くは、一連の塩基配列の中で1つの塩基だけが異なっているものである。このような違いを何とというか、答えよ。

問 2. 下線部(2)について、塩基配列が変化する突然変異には置換、欠失、挿入の3種類がある。これら3種類の突然変異により1つの塩基が変化した場合、起こりうるアミノ酸の変化について、最も適切なものを以下の選択肢からそれぞれ2つずつ選び、記号で答えよ。

- (a) 1つのアミノ酸が別のアミノ酸に置き換わる。
- (b) 終止コドンが新たに生じて翻訳が途中で終了する。
- (c) コドンの読み枠がずれ、それ以降のアミノ酸が大きく変化する。

問 3. 下線部(3)について、有性生殖では、突然変異が起これなくても同じ両親から様々な遺伝子の組み合わせをもつ子が生まれる。その理由を以下の2つの観点からそれぞれ答えよ。

- (I) 相同染色体の分配
- (II) 相同染色体の組換え

問 4. 下線部(4)について、被子植物の受精が重複受精と呼ばれている理由を、以下の語をすべて用いて答えよ。

精細胞, 胚乳, 卵細胞, 胚, 中央細胞

## 文2

ミトコンドリアや葉緑体などの細胞小器官には、核ゲノムとは独立したゲノムが存在する。有性生殖の際に両親それぞれから引き継がれる核ゲノムとは異なり、ミトコンドリアゲノムは母親からしか受け継がれないとされている。このような遺伝様式を母性遺伝という。逆に遺伝情報が父親からしか受け継がれない場合は父性遺伝と呼ばれる。以下の実験1～3では、被子植物の葉緑体ゲノムが次世代にどのように受け継がれるかを調べた。

### 【実験1】

抗生物質であるスペクチノマイシンは、葉緑体のタンパク質合成を阻害する作用があるため、野生型植物に投与すると植物体は白化する。しかし、遺伝子<sup>(5)</sup> *aadA* を植物に導入すると、その遺伝子産物がスペクチノマイシンを不活性化するため、スペクチノマイシンを含む培地でも生育できる性質が付与される。

まず、野生型タバコの葉緑体ゲノムに、*aadA* 遺伝子を組み込んだ植物(野生型 *aadA*)を作製した。野生型 *aadA* どうしを交配すると、次世代の個体はすべてスペクチノマイシン耐性をもつ植物であった。その後、野生型 *aadA* の花粉(父親)を通常の野生型の柱頭(母親)に交配させて得た種子を、スペクチノマイシンを含む培地にまいた。多くの種子は発芽後まもなく白化したが、緑色のままのスペクチノマイシン耐性植物が、極めて低い確率で出現した。その結果を表1にまとめた。

表1. 野生型 *aadA* と野生型植物を受精させて得た種子のスペクチノマイシン耐性

花粉(父親)	柱頭(母親)	まいた種子の数	スペクチノマイシン耐性をもつ植物体の数
野生型 <i>aadA</i>	野生型	2094588	33

## 【実験 2】

花粉の発達過程で、葉緑体内では DNA 分解酵素 X が発現していることがわかった。葉緑体ゲノムの遺伝に対する酵素 X の影響を調べるため、X の遺伝子が欠損した変異体 x において、実験 1 と同様に *aadA* 遺伝子を組み込んだ変異体 x<sup>*aadA*</sup> を作製した。その後、変異体 x<sup>*aadA*</sup> (父親) と野生型 (母親) を交配させて得た種子を、スペクチノマイシンを含む培地にまき、出現したスペクチノマイシン耐性植物の数を表 2 にまとめた。

表 2. 変異体 x<sup>*aadA*</sup> と野生型植物を受精させて得た種子のスペクチノマイシン耐性

花粉(父親)	柱頭(母親)	まいた種子の数	スペクチノマイシン耐性をもつ植物体の数
変異体 x <sup><i>aadA</i></sup>	野生型	18060	24

### 【実験 3】

被子植物の花粉は、成熟すると大きな花粉管細胞の中に小さな雄原細胞が生じる。雄原細胞は最終的に卵細胞と融合し、受精卵を形成する。実験 1 と実験 2 で作製した野生型 *aadA* および変異体  $x^{aadA}$  の成熟花粉を採取し、DNA 染色試薬を用いて顕微鏡下で観察した。その結果、野生型 *aadA* では、花粉管細胞や雄原細胞の核の DNA は検出され、葉緑体の DNA はほとんど検出されなかった(図 1 A)。一方で、一部の変異体  $x^{aadA}$  の花粉では、雄原細胞の中や外にある葉緑体の DNA も検出された(図 1 B)。

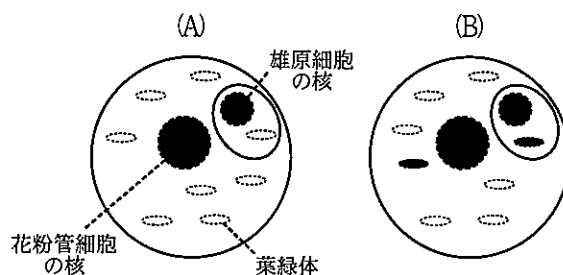


図 1. 野生型 *aadA* 植物および変異体  $x^{aadA}$  植物の花粉における DNA の検出  
(A)野生型 *aadA* の花粉。(B)葉緑体の DNA が染色された変異体  $x^{aadA}$  の花粉。黒塗り部分は、DNA が染色された部位を表す。核と葉緑体以外の細胞小器官は省略している。

実験 1 ~ 3 の結果は、Chung et al., *Nat. Plants* (2023) より改変。

問 5. 下線部(5)について、野生型 *aadA* 植物がスペクチノマイシン耐性を獲得するには、核ゲノムよりも葉緑体ゲノムに *aadA* 遺伝子を導入するのが望ましい。その理由を答えよ。

問 6. 実験 1 の結果から、葉緑体ゲノムの遺伝様式は通常、母性遺伝と父性遺伝のどちらであると言えるか、答えよ。また、そのように考えた理由も答えよ。

- 問 7. 実験 1 において、野生型 *aadA* を母親とし、野生型を父親として次世代の種子を得た場合、次世代でスペクチノマイシン耐性植物が出現する割合はどのようになると考えられるか、答えよ。また、そのように考えた理由も答えよ。
- 問 8. 実験 1 の結果において、極めて低い確率でスペクチノマイシン耐性植物が出現した。なぜこのような植物が出現したのか、理由を答えよ。
- 問 9. 実験 1 において野生型 *aadA* を父親に使った場合と比べて、実験 2 で変異体 *x<sup>aadA</sup>* を父親に使った場合、次世代でスペクチノマイシン耐性植物が出現する確率は何倍になったか、小数点第一位まで答えよ。
- 問10. 実験 2 と実験 3 の結果から、酵素 X は葉緑体ゲノムの遺伝にどのように関わっていると考えられるか、答えよ。
- 問11. 実験 3 の図 1 B において観察された変異体 *x<sup>aadA</sup>* の成熟花粉を、野生型の柱頭に受粉させると、スペクチノマイシン耐性をもつ植物が生じた。その理由を答えよ。
- 問12. 実験 1 ~ 3 の結果において、葉緑体ゲノムが完全に片親のみから遺伝するわけではないことがわかった。このことは、進化の過程で種を存続させるためにどのような利点があると考えられるか、答えよ。

※印欄には記入しないこと。

(理 学 部)

--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--

1

問 1	ア	イ
問 2	前期	
	中期	
	後期	
	終期	
問 3		
問 4		
問 5	器官	
	理由	

※ 1 計
-------

※ 1 計
-------

答案用紙

生 物 (その2)

受験番号

受験番号

※印欄には記入しないこと。

(理 学 部)

1

問 6	
問 7	
問 8	
	理由
問 9	時間
	理由
	時間
	理由
問10	
問11	
問12	

※ 2 計

※ 2 計

※印欄には記入しないこと。

(理 学 部)

2

問 1		
問 2	ア	イ
	ウ	
問 3		
問 4	カルシウムイオン濃度が低い場合	
	カルシウムイオン濃度が高い場合	
問 5	名称	
	役割	
問 6		

※ 3 計

※ 3 計

※印欄には記入しないこと。

(理 学 部)

2

問 7	(I)			
	(II)			
	(III)			
問 8				
問 9	名称	配列		
問10				
	(I)	(II)	(III)	(IV)
問11	(I)	(II)	(III)	(IV)

※ 4 計

※ 4 計

※印欄には記入しないこと。

(理 学 部)

3

問 1			
問 2	置換	欠失	挿入
問 3	(I)		
	(II)		
問 4			
問 5			
問 6	遺伝様式		
	理由		

※ 5 計

※ 5 計

※印欄には記入しないこと。

(理 学 部)

3

問 7	割合	
	理由	
問 8		
問 9		
問10		
問11		
問12		

※ 6 計

※ 6 計