

2022年度
東京都立大学大学院
理学研究科博士前期課程
生命科学専攻 夏季入試
生物学

試験時間 9 : 3 0 ~ 1 1 : 3 0

注意事項

- ◎ 受験生は試験開始の合図があるまで、頁をめくって問題を見てはいけません。
- ◎ 問題冊子（1部）と答案用紙（2枚）が配布されていることを確認してください。問題冊子と答案用紙のすべてがそろっていない場合には申し出てください。
- ◎ 各自の受験番号および氏名を答案用紙の所定の欄に記入してください。
- ◎ 問題は14題（第1問から第14問）あります。2題を選択し、それぞれの問題の指示に従って解答してください。
- ◎ 選択した問題ごとに別々の答案用紙を用い、問題番号欄に、選択した問題番号を記入してください。

2022

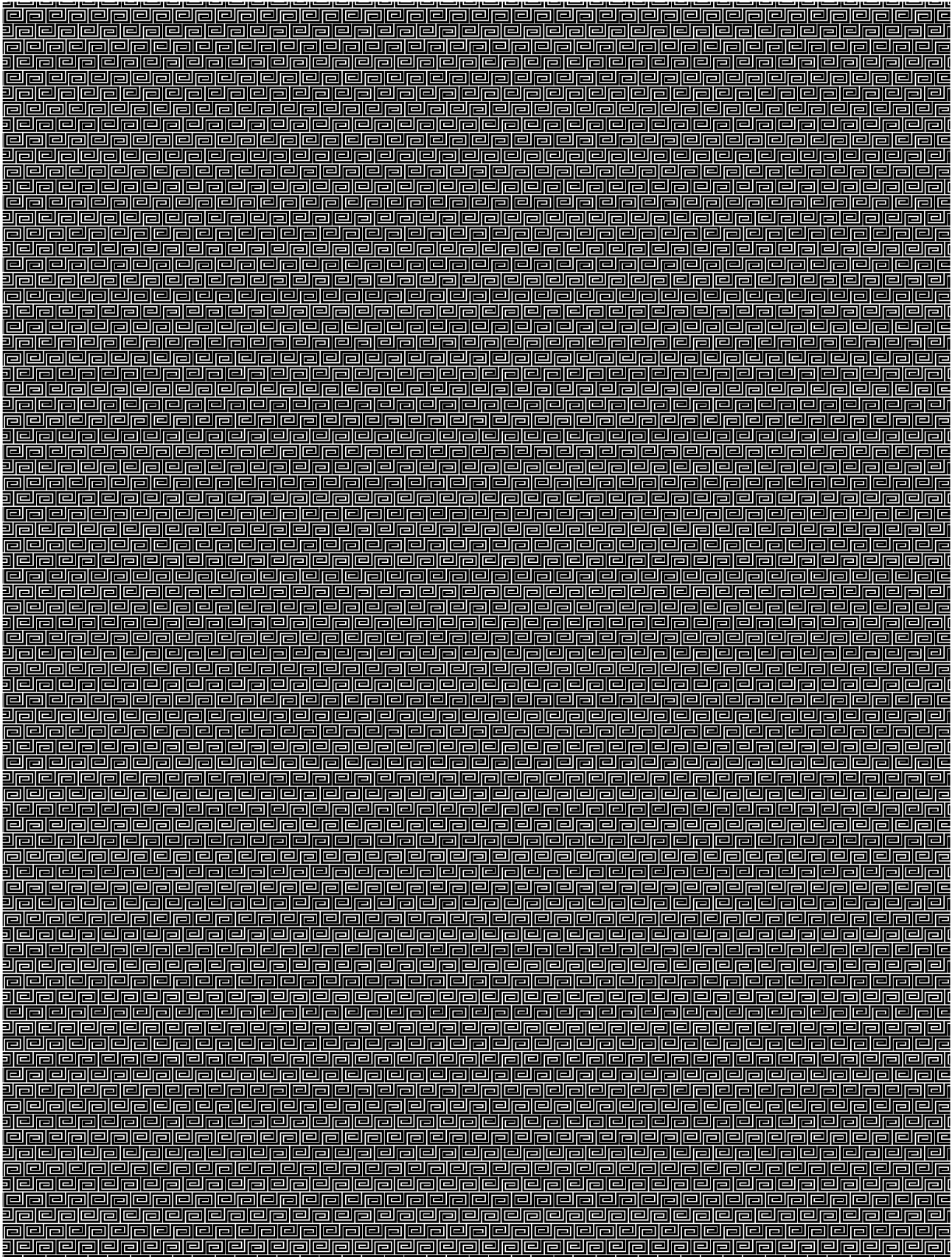
Tokyo Metropolitan University

Graduate School of Science, Department of Biological Sciences

--Biology--

9:30 – 11:30

- Do not open this article until notified.
- Confirm that you are supplied with two answer sheets along with this article.
- There are 14 sections. Choose and answer two sections. Follow the instruction of each section.
- Use one answer sheet for each section. Write the section number in the “Question No.” column at the top of each answer sheet.



第1問 (Section 1) ; 系統分類学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 次の(1)～(5)の項目から三つを選び、対になった用語を関連づけて、各項目の概念を、それぞれ2、3行で説明しなさい。具体的な事例をあげてもかまわない。

- (1) 雑種不稔性(雑種不妊性)と種間の遺伝距離
- (2) 浸透性交雑と交雑帯
- (3) 異形花柱性と自家不和合性
- (4) 種(species)と単系統群
- (5) 行動的隔離と機械的隔離

問2 植物や動物の学名の普遍性・安定性を保証することを目的に作られた国際藻類・菌類・植物命名規約や国際動物命名規約に関する(1)、(2)に答えなさい。

(1) Millerが1971年に新種として発表した *Porrhomma omissum* と、Simonが1884年に新種として発表した *Porrhomma egeria* が、後の研究によって同種であることが明らかとなった場合、どのような分類学的な処置が行われるか、説明しなさい。

(2) 現行の規約では、新種を記載・命名する際には、その新種の記載の基となった標本のうちから一つの標本を選び、それをタイプ標本に指定しなければならない。タイプ標本を指定することが学名の普遍性・安定性においてどのような役割を果たすのか、説明しなさい。

問3 単一の種のオス成体とメス成体で顕著な形態的二型が存在するため、オスとメスが誤って異なる分類群として認識されている事例が存在する。そのような種を複数含む分類群について、同種のオスとメスを正しく対応づけるためにはどのようにすればよいか、説明しなさい。

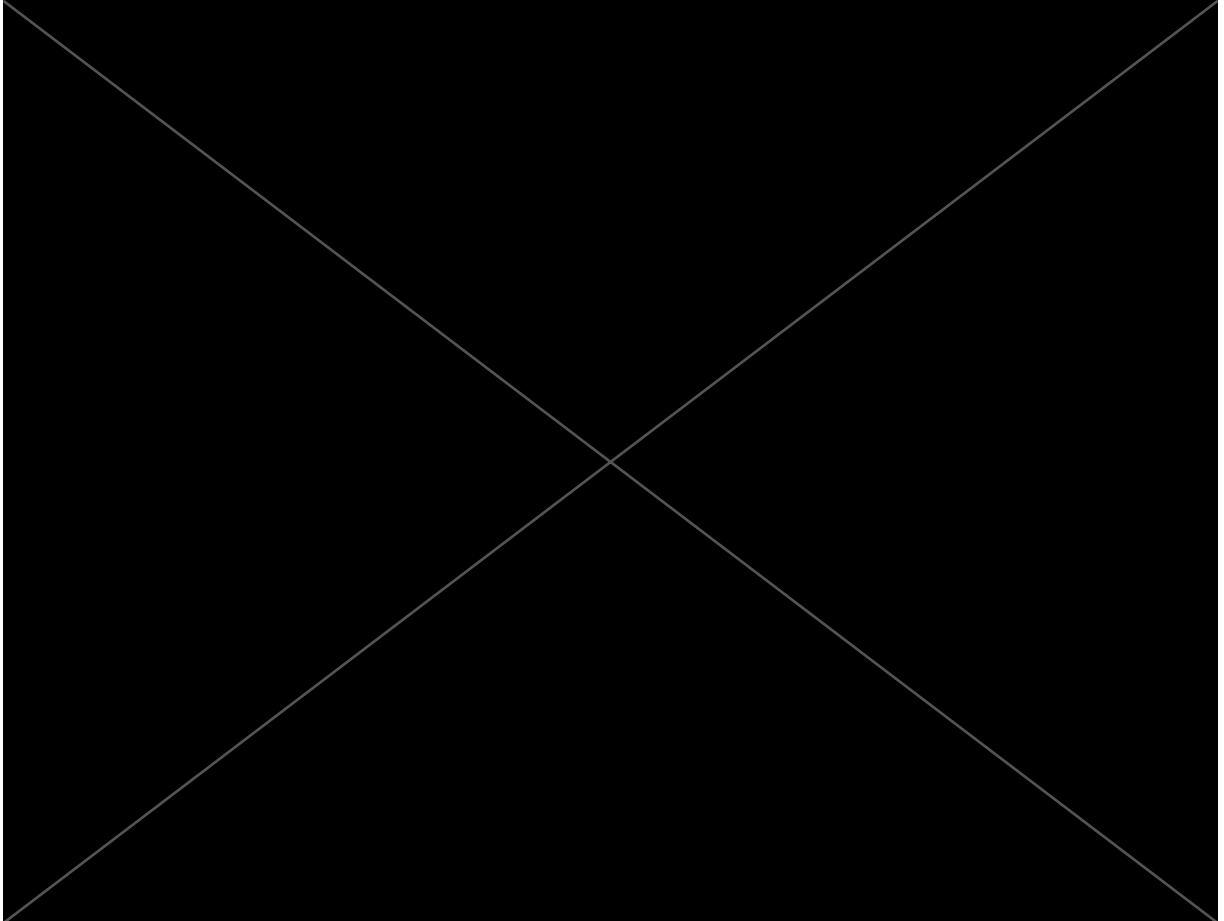
し、系統樹からヒトの緑オプシン遺伝子は他の脊椎動物種の緑オプシン遺伝子とは異なり、赤オプシン遺伝子に近縁であることが分かる。この系統樹から推測されるヒトの色覚の進化過程を説明しなさい。なお、この系統樹の推定に誤りはないとする。

(2) 遺伝子重複が生じる主な原因として、減数分裂時の不等交差とレトロトランスポゾンによる逆転写の二つがあげられる。それぞれについて遺伝子重複が生じる過程を説明し、ある遺伝子重複がそれらのうちどちらによって生じたのかを見分ける方法を答えなさい。

(3) オプシン遺伝子以外で遺伝子重複の例をあげ、それが生物の進化にどのように関わったのかについて説明しなさい。

第3問 (Section 3) ; 動物生態学

次の文章について、以下の問1～問4すべてに答えなさい。



Modified from Dalziell and Welbergen (2016), Ecol. Lett.

Model: モデル種, 擬態のモデルとなる種。Percept: 認知、知覚。Mimic: 擬態種, ミミック種。

問1 ベイツ型擬態では、モデル種には毒や不快な味があるが、ミミック種にはない。ベイツ型擬態が進化的に維持される主要な条件は二つある。一つ目はモデル種が捕食された場合に生じる i), ii) の相互作用についての条件であり、二つ目は、ミミック種が捕食された場合の iii), iv) の相互作用についての条件である。二つの条件についてそれぞれ2行程度で説明し、その中で二つ目の条件についてはモデル種・ミミック種の群集内での頻度に言及しなさい。

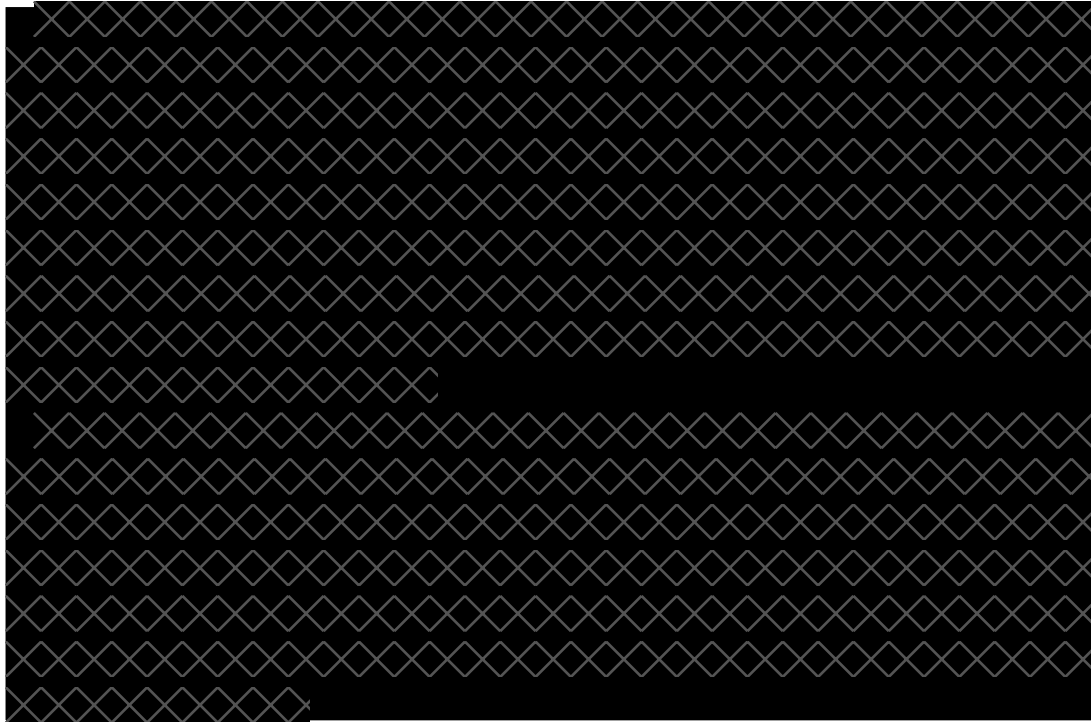
問2 ベイツ型擬態に対して、ミュラー型擬態というものが知られている。ミュラー型擬態について例をあげて説明しなさい。また、ミュラー型擬態によって、潜在的な被食者は捕食者から効率的に逃れられると考えられている。その生態学的な仕組みを8行程度で説明しなさい。

問3 下線部(1)では、共進化が生じる可能性が言及されている。モデル種、ミミック種そして捕食者（の知覚）に生じることが予測される共進化動態のパターンを二つ考え、それぞれ例をあげて8行程度で説明しなさい。あげる例は、実際の事例でも仮想の事例でも構わない。

問4 被食者は多様な対捕食者戦略により捕食圧に対して適応している。動物や植物の擬態以外の対捕食者戦略の例を一つあげ、対捕食者戦略の進化について8行程度で論じなさい。議論には、被食者が効率的に捕食を逃れる方法を含めること。

第4問 (Section 4) ; 植物生態学

次の英文 (Heymann et al. 2019, Scientific Reports, 9, Article number 10356 より、一部改変) を読み、これに関する以下の問1～問5すべてに答えなさい。



arboreal: living in trees

Neotropics: the tropical regions comprising Central and South America

問1 下線部(1)にある tropical forest の一つに tropical rain forest がある。tropical rain forest とは何かを説明しなさい。ただし、その物質生産における特徴とその非生物的な環境については、かならず言及すること。

問2 下線部(2)にある flying vertebrates とはどのような生物かを答えなさい。

問3 下線部(3)の secondary forest とは何かを、primary forest との違いが明確になるように説明しなさい。

問4 果実、葉、樹皮などの植物の様々な器官は、動物によって餌資源として利用される。餌資源としての果実の特徴を、葉の場合と比較して説明しなさい。

問5 二次林の再生において、Tamarins が担っている役割を評価する実験計画を提案し、その実験計画がどのように Tamarins の役割を評価するのかを説明しなさい。

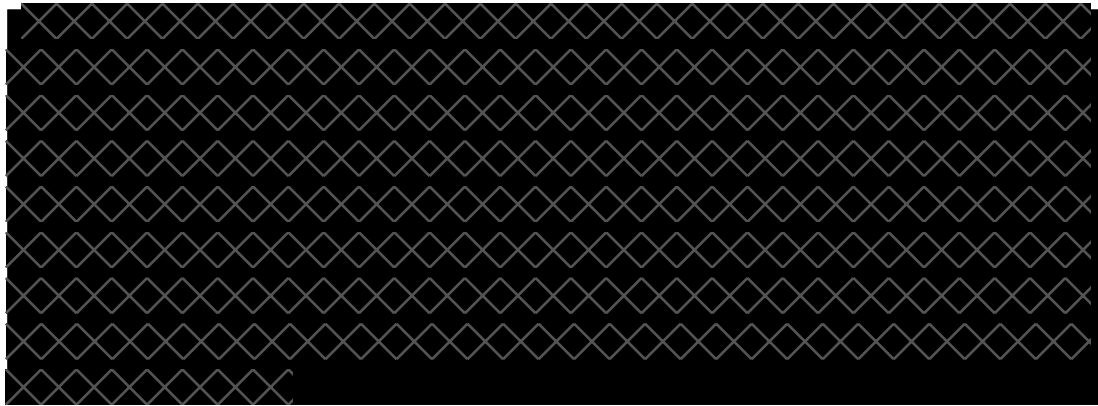
第5問 (Section 5) ; 微生物学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 次にあげる原核生物の代謝や生理に関する(1) ~ (7)の項目から三つを選び、それぞれについて5行程度で説明しなさい。

- (1) 光合成の電子伝達系
- (2) 発酵代謝の多様性
- (3) 二成分制御系による環境応答
- (4) 染色体 DNA 複製機構
- (5) IV 型分泌系
- (6) 好熱性菌の熱抵抗機構
- (7) 栄養飢餓応答

問2 次の文章を参考に、chemolithotrophic prokaryote の多様性や生態について、論じなさい。



(Brock: Biology of Microorganisms を一部改変)

第6問 (Section 6) ; 生化学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 タンパク質の分子量を調べる実験手法を三つあげ、それぞれの原理について5行程度で説明しなさい。

問2 酵素は化学反応の活性化エネルギーを下げることによって反応を促進している。この酵素による活性化エネルギーの低下がどのような機構で行われているか、タンパク質分解酵素によるペプチドの切断など、自分の知っている反応を例に説明しなさい。

問3 細胞膜を構成するグリセロリン脂質は、ホスファチジル基を有している。ホスファチジル基の基本構造であるホスファチジン酸 (ジアシルグリセロール 3-リン酸) の化学構造を説明しなさい。また、ホスファチジン酸のリン酸に結合した官能基の違いが細胞膜の性質に与える影響について、説明しなさい。説明には、図を用いても構わない。

第7問 (Section 7) ; 分子生物学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 真核生物の染色体構造について、次の用語をすべて用いて説明しなさい。

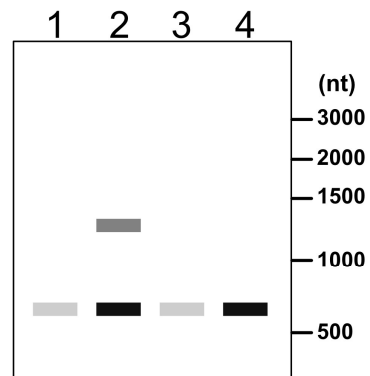
<用語>

間期染色体、分裂期染色体、テロメア、セントロメア、ヒストン、
ユークロマチン、ヘテロクロマチン、ヌクレオソーム

問2 細菌と真核生物の翻訳開始機構の相違点を、5行程度で説明しなさい。

問3 ある細菌について、遺伝子 y の発現に与える温度の影響を調べた。温度を上昇させる前と後の細胞から RNA を抽出し、遺伝子 y の mRNA を特異的に検出する DNA プロブを用いてノーザンブロット(Northern Blot)解析を行った(右図 野生株)。次に、転写因子をコードする遺伝子 x を欠損した変異株についても同様に解析した(右図 Δx 株)。

右図の結果から、この細菌における遺伝子 y の発現およびその発現調節機構について考えられることを説明しなさい。なお、図中の検出されたバンドの色の濃淡はシグナル強度を表す。



レーン1, 2: 野生株 レーン3, 4: Δx 株
レーン1, 3: 高温処理前 レーン2, 4: 高温処理後
RNAサイズ(nt)の目安をレーン右に示す

第8問 (Section 8) ; 細胞生物学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 生物において遺伝情報 (DNA) は多くの場合、半保存的に複製される。半保存的複製、保存的複製、分散的複製の違いを説明しなさい。また、DNA の複製が半保存的であるかを判別する実験を考え、説明しなさい。半保存的複製、保存的複製、分散的複製が起こっている場合に、それぞれどのような結果が得られるか、あわせて述べること。上述した結果が得られるためにはどのような実験条件が必要かを述べること。

問2 次の用語から適切なものを選んで、細胞周期の M 期における動物細胞と植物細胞の体細胞分裂の過程を比較しつつ説明しなさい。

<用語>

中心体、ホスファチジルイノシトール 4,5-ビスリン酸 (phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate)、染色体、分裂溝、Cdk1、核膜、キネトコア (kinetochore)、アクチン、DNA、凝集、チューブリン、細胞板、キネシン、ミトコンドリア、分裂装置、細胞膜、フラグモプラスト

第9問 (Section 9) ; 遺伝学

次の問1～問4すべてに答えなさい。

問1 生命現象の分子メカニズムを探るためのモデル生物として、さまざまな動物が用いられてきた。下の動物種のリストから2種を選び、モデル生物として用いる場合の長所と短所を、それぞれの種について10行以内で説明しなさい。

<動物種のリスト>

線虫 (*Caenorhabditis elegans*)、ショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*)、
ゼブラフィッシュ (*Danio rerio*)、マウス (*Mus musculus*)

問2 原核生物と真核生物のいずれにおいても、さまざまな仕組みによって一つの遺伝子から複数種類のタンパク質ができる場合がある。どのような仕組みによって一つの遺伝子から複数種類のタンパク質ができるか、事例をあげつつ、三つの仕組みをそれぞれ5行程度で説明しなさい。

問3 代表的な非翻訳 RNA として small interfering RNA (siRNA) が知られている。生体内における、siRNA の役割について5行以内で説明しなさい。

問4 ある siRNA の鋳型 DNA 塩基配列が分かっているとする。siRNA が関わる生命現象を一つ想定し、この生命現象の中で、この siRNA の役割や作用機序を調べる研究方法を15行以内で説明しなさい。

第10問 (Section 10) ; 発生生物学

次の文章を読み、以下の問1、問2すべてに答えなさい。

脊椎動物において、成体の骨の多くは軟骨が骨化して作られる。マウスでは、胎児期において軟骨細胞が **Collagen Type II** を分泌することで軟骨が形成され、誕生後に軟骨が骨化する。骨化の過程では、軟骨細胞がアポトーシスを起こし、軟骨の外から骨芽細胞が入り込んで **Collagen Type I** を分泌し、骨の基質を作ると考えられている。その後、骨芽細胞と破骨細胞が骨の恒常性を維持する。

マウスを材料として、骨の分化について以下の実験結果が得られた。

実験1: 軟骨細胞と骨芽細胞で、コラーゲン (Collagen) ファミリーに属する遺伝子の mRNA の発現を RT-PCR 法を用いて調べたところ、軟骨細胞では **Collagen Type II** の mRNA のみが、骨芽細胞では **Collagen Type I** の mRNA のみが検出された。

実験2: 初代培養軟骨細胞にある薬剤を投与したところ、90%の軟骨細胞がアポトーシスを起こして死滅し、10%が生き残った。生き残った細胞はすべて **Collagen Type I** を発現し、**Collagen Type II** は発現していなかった。

これらの結果から、マウスの骨化過程で、軟骨細胞の一部が骨芽細胞に分化すると仮説を立てた。

問1 Cre-LoxP システムを使って上の仮説を検証する方法を説明しなさい (図を使ってもかまわない)。ただし、**Collagen Type I**、**Collagen Type II** をコードする遺伝子の骨芽細胞、軟骨細胞特異的なプロモーターは解明されているとする。

問2 Cre-LoxP システムを使わずに上の仮説を検証する方法を考えなさい。

Cre-LoxP システム: LoxP と呼ばれる DNA 配列を標的とする DNA 組み換え酵素である Cre を発現させることで、部位特異的組み換えを誘発させるシステムのこと。

第11問 (Section 11) ; 植物生理学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 次の用語(1) ~ (8)すべてについて、植物の生理学、発生生物学、生化学、分子生物学に関連させて、それぞれ2、3行程度で説明しなさい。

- (1) 核ゲノムとオルガネラゲノム
- (2) 重複受精
- (3) 分化全能性
- (4) 脱黄化
- (5) 反応中心クロロフィル
- (6) 核局在化シグナル
- (7) アゴニストとアンタゴニスト
- (8) メタボローム

問2 次の(1) ~ (3)のうちから一つを選んで答えなさい。

(1) 植物種Aの花粉を植物種Bの雌蕊（めしべ）に受粉させると半数性の植物種Bの胚をもつ種子が生じた。これは、受粉によって生じた受精卵が発生する過程で植物種Aの染色体（ゲノム）が脱落するからである。一方、この交配で生じた種子の胚乳を調べたところ、種Aと種Bのゲノムが共存していた。なぜ胚とは異なり、胚乳では二種のゲノムが共存し得るのか仮説を立て、その仮説を検証する方法を答えなさい。

(2) 過剰な光にさらされた植物には、様々な障害が起きることが知られている。過剰な光に対する植物の防御反応の分子機構を二つあげ、説明しなさい。

(3) 植物ホルモンの一つであるジベレリンが、受容体に認識されて生理作用を引き起こす過程の分子機構を説明しなさい。

第12問 (Section 12) ; 動物生理学

動物が受容する刺激はエネルギーの種類によって電磁的刺激、機械的刺激、化学的刺激の3種類に分けられる。感覚受容に関する次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 脊椎動物を例に、これら3種の刺激について感覚の種類（モダリティー）をそれぞれ二つずつあげなさい。またそれら六つの感覚モダリティーに関わる受容器（受容細胞・感覚細胞）の名称を答えなさい。

問2 電磁的刺激、機械的刺激、化学的刺激に当てはまる具体的な刺激を一つずつあげなさい。それぞれについて、受容器が刺激情報を電気的信号に変換し、さらにそれが中枢神経系まで伝達される一連のしくみを説明しなさい。

第13問 (Section 13) ; 生物物理学

次の問いに答えなさい。

問 物理学・化学に関するさまざまな発見が生命科学研究を発展させてきた。次の(1)～(4)から二つを選び、それぞれを説明するとともに生命科学分野における重要性について論じなさい。

- (1) 水素結合 (Hydrogen bond)
- (2) 共焦点レーザー走査型顕微鏡 (Confocal laser scanning microscopy)
- (3) タンパク質間相互作用解析技術 (Techniques for protein-protein interaction analysis)
- (4) プランク定数 (Planck constant)

第14問 (Section 14) ; 生物統計学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 種Aと種Bという2種の蛾の幼虫には棘が5本のタイプと6本のタイプが存在する。種Aでは、3個体が5本の棘を、34個体が6本の棘を持っていた。種Bでは、11個体が5本の棘を、35個体が6本の棘を持っていた。これら2種の間で、5本の棘を持つ幼虫と6本の棘を持つ幼虫の割合には違いがあるといえるか、 χ^2 -分布表(表1)を用いて、統計学的検定を行いなさい。ただし、期待値は整数(小数点以下四捨五入)として計算すること。

表1 χ^2 -分布表

P (確率)	自由度 1	自由度 2	自由度 3	自由度 4
0.30	1.074	2.408	3.665	4.878
0.20	1.642	3.219	4.642	5.989
0.10	2.706	4.605	6.251	7.779
0.05	3.841	5.991	7.815	9.488
0.01	6.635	9.210	11.345	13.277

問2 表1の自由度3の χ^2 -分布表を使って統計処理を行う実験が適切なのはどのような場合か。該当する実験計画を考え、説明しなさい。材料や内容は架空のもので良い。

Section 1: Systematics

Answer all questions from question 1 to question 3.

Question 1: Select three from the following paired terms (1) to (5), and explain the concept of each in a few lines. You can give examples.

- (1) hybrid sterility and genetic distance among species
- (2) introgression and hybrid zone
- (3) heterostyly and self-incompatibility
- (4) species and monophyletic group
- (5) behavioral isolation and mechanical isolation

Question 2: Answer questions (1) and (2) regarding the "International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants (ICBN)" and "International Code of Zoological Nomenclature (ICZN)" that were created for the purpose of guaranteeing the universality and stability of scientific names.

(1) *Porrhomma omissum* was described as a new species by Miller in 1971, while *Porrhomma egeria* was described as a new species by Simon in 1884. What kind of taxonomic treatment should be applied if the two species are confirmed to be conspecific in a later study.

(2) In the ICBN and ICZN, when describing and naming a new species, a single specimen must be selected from a series of specimens on which the description of the new species is based, and designated as the type specimen. Explain the role of the type specimens in maintaining the universality and stability of scientific names.

Question 3: There are cases where male and female adult individuals of a single species are assigned to two different taxa due to remarkable morphological dimorphism. In a taxon that contains several such cases, explain how to clarify the male-female pairs for each species.

Section 2: Evolutionary Biology

Answer both question 1 and question 2.

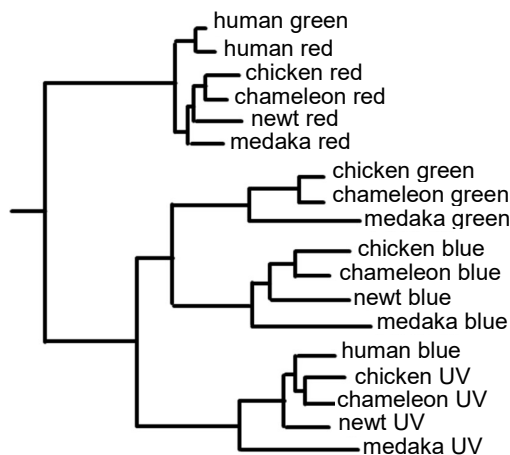
Question1: There are two alleles, A and a , at an autosomal locus in a sufficiently large population of an organism. A is completely dominant over a . Answer the following questions (1) - (3).

(1) Let p be the frequency of the allele A . Write an equation to determine the frequency of heterozygosity, designated as H , using p . Draw a graph with H on the y -axis and p on the x -axis. Determine the maximum value of H and the value of p when H is at its maximum. Assume that the population is in Hardy-Weinberg equilibrium.

(2) The lethality of the genotype aa is 90%. However, a has been kept at low frequencies in the population for a long time without being completely removed. Explain the reason why a partially lethal allele can be maintained in a population for a long time.

(3) The difference between A and a is a nonsynonymous change in the amino-acid coding region of a gene designated as G . Describe a detailed methodology to predict the function of G without conducting any experiment in the laboratory.

Question 2: The phylogenetic tree shown below is for the opsin genes in representative vertebrate species. The opsin genes encode opsin proteins, which are involved in optic cells on the retina of eyeballs and play a critical role as photo-receptors in the visual sense. The opsin genes were generated by gene duplications, and differentiated in the maximum absorption wavelengths in their products to be responsible for color vision. Answer the following questions (1) - (3).



(1) Mammalian species generally do not have the green opsin genes, but humans do. However, the phylogenetic tree shows that the green opsin gene of humans is different from those of other species in its phylogeny, and more closely related to the red opsin genes. Explain the evolutionary history of

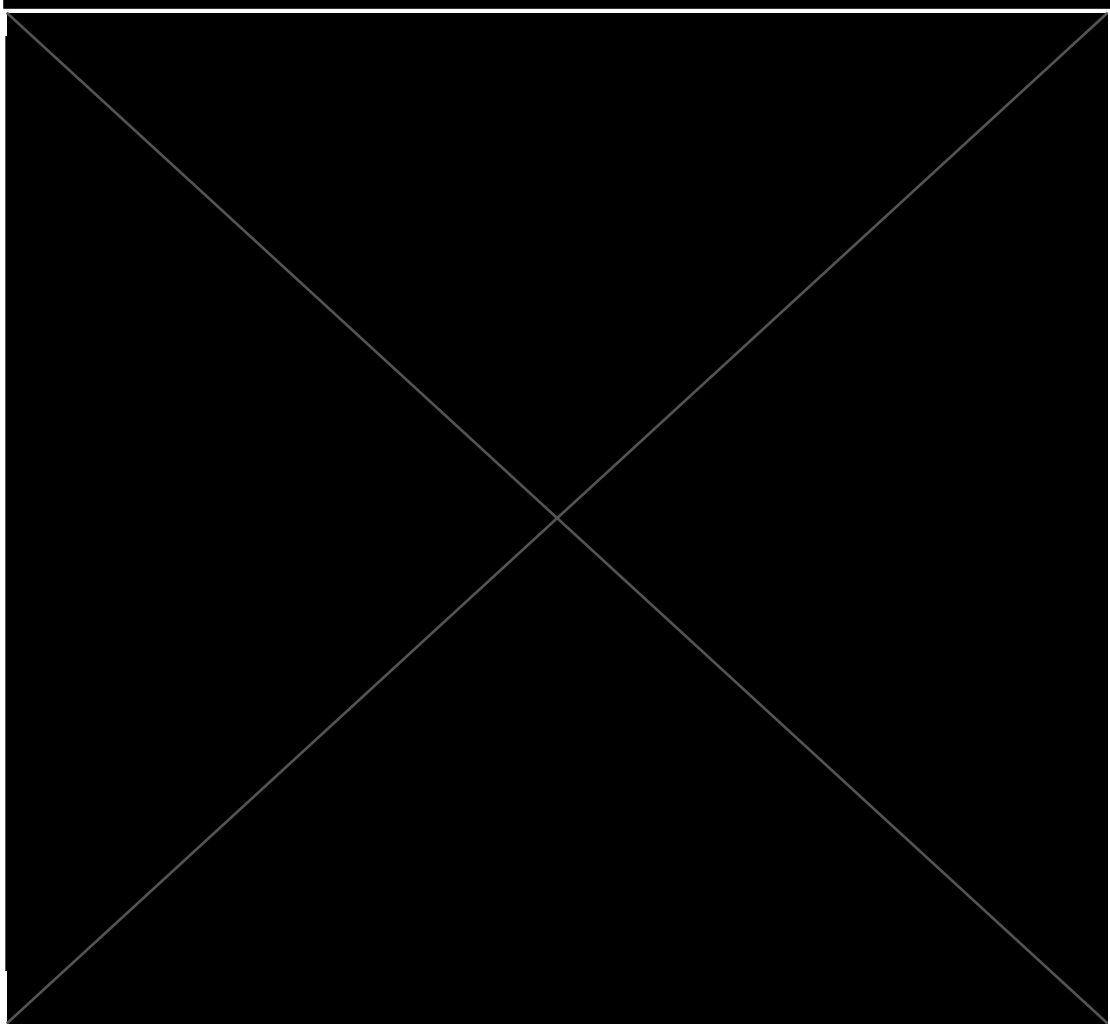
color vision of humans inferred from this phylogenetic tree, assuming no error in the phylogenetic tree estimation.

(2) There are two primary molecular mechanisms for gene duplications, i.e., unequal crossing-over in meiosis and reverse-transcription mediated by retrotransposons. Explain how gene duplications occur by each molecular mechanism and how we can distinguish which one has caused a given gene duplication.

(3) Explain how gene duplications drive the evolution of organisms using an example of duplicated genes other than opsin genes.

Section 3: Animal Ecology

Read the excerpt below from a review paper on mimicry (Dalziell and Welbergen 2016, *Ecol. Lett.*) and answer all questions from question 1 to question 4.



Question 1: In Batesian mimicry, the model is toxic or distasteful and the mimic is not. Basically, two conditions are required for Batesian mimicry to be evolutionarily maintained. The first is a model-driven interaction (i, ii). and the second is a mimic-driven interaction (iii, iv). Describe the two conditions for the model-driven and the mimic-driven interactions, each in a few lines. In the second condition, refer to the frequencies of the model and the mimic in the community.

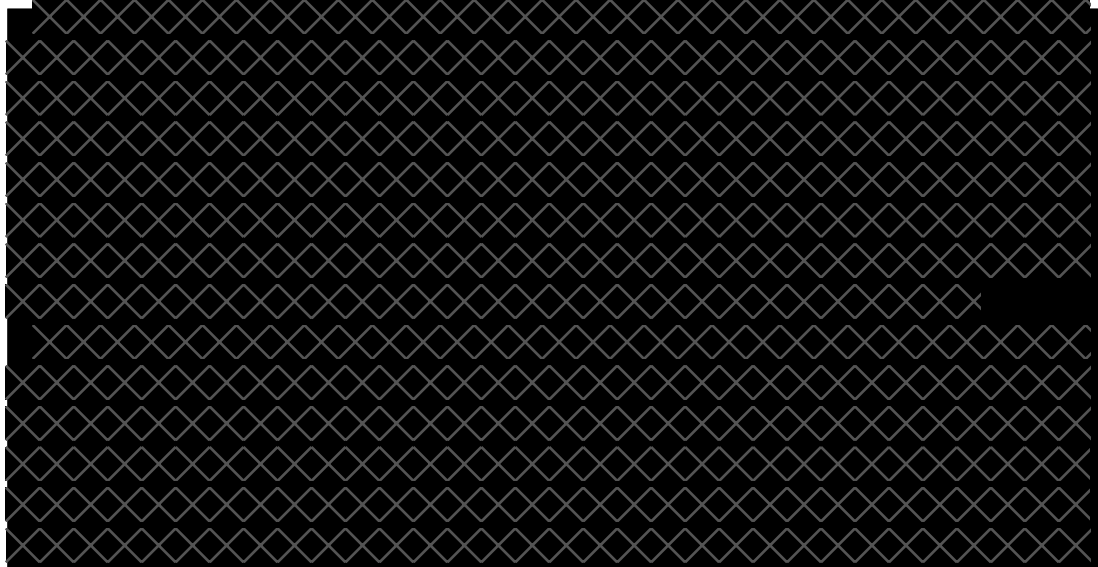
Question 2: A second form of mimicry is known as Müllerian mimicry. Explain what Müllerian mimicry is and provide an example(s). Then, explain the ecological mechanism through which potential prey can effectively avoid predation using this mechanism. Give your answer in about 10 lines.

Question 3: At the end of the excerpt, the authors note that “These interactions could result in coevolutionary dynamics”. What kind(s) of coevolutionary dynamics might occur among model, mimic and receiver (percept)? Suggest two possible scenarios and provide examples (examples may be real or imaginary). Give your answer in about 10 lines.

Question 4: Anti-predator strategies are highly diverse, because prey can respond to the selection pressure of predation in different ways. Discuss the evolution of anti-predator strategies in plants or animals, providing one example other than mimicry. In your argument, include an explanation of how prey can effectively cope with predators. Give your answer in about 12 lines.

Section 4: Plant Ecology

Read the paragraphs below, modified from Heymann et al. (2019, Scientific Reports, 9, Article number 10356) and answer all questions from question 1 to question 5, which are based on them.



arboreal: living in trees,

Neotropics: the tropical regions comprising Central and South America

Question 1: There are a few types of tropical forests. Describe features of one of these: tropical rain forests. Your answer must include the features of matter production and describe the abiotic components of tropical rain forests.

Question 2: Describe what flying vertebrates are in the context described above, and provide an example of seed dispersal by flying vertebrates found in temperate forests.

Question 3: Explain what a secondary forest is. Your answer should clarify the difference between a secondary forest and a primary forest.

Question 4: Various organs of plants, such as fruits, leaves, and bark are used by animals as their food resources. Describe the characteristics of fruits as a food resource in comparison with those of leaves.

Question 5: Propose an experimental design to examine the role Tamarins would play in the regeneration of secondary forests, and describe how your experiment can evaluate their role.

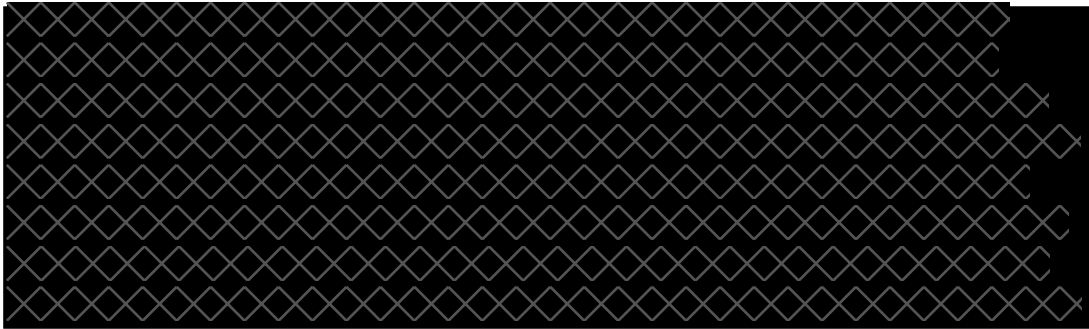
Section 5: Microbiology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Choose three topics from the following 7 regarding prokaryotic metabolism and physiology, and explain in approximately 5 lines in each case.

- (1) Electron transport chain of photosynthesis
- (2) Diversity of fermentative metabolisms
- (3) Environmental response by two-component regulatory systems
- (4) Genomic DNA replication mechanisms
- (5) Type IV secretion system
- (6) Heat tolerance mechanisms of thermophiles
- (7) Responses to nutrient starvation

Question 2: Write an essay on the diversity and ecology of chemolithotrophic prokaryotes by referring to the following paragraph.



(modified from Brock: Biology of Microorganisms)

Section 6: Biochemistry

Answer all questions from question 1 to question 3.

Question 1: Name three experimental methods used to determine the molecular weight of a protein, and describe the principles of each method in 5 lines each.

Question 2: Enzymes enhance chemical reactions by reducing the activation-energy. Choose an enzymatic reaction, such as proteolysis, and explain how the enzyme reduces the activation-energy to cleave polypeptides.

Question 3: Glycerophospholipids, major constituents of the cell membrane, contain phosphatidyl groups. Describe the chemical structure of phosphatidic acid (diacylglycerol 3-phosphate). In addition, describe how organic compounds attached to the phosphate group of phosphatidic acid affect properties of membranes that contain the phosphatidic acid. You may include diagrams in your explanation.

Section 7: Molecular Biology

Answer all questions from question 1 to question 3.

Question 1: Describe the structure of chromosomes in eukaryotic cells by using all of the following terms.

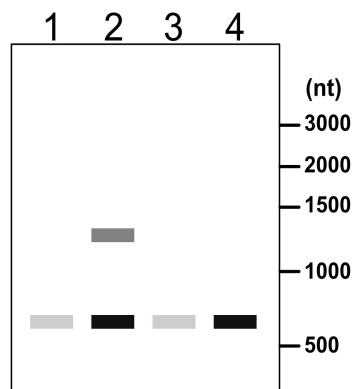
<List of terms>

Interphase chromosome, mitotic chromosome, telomere, centromere, histone, euchromatin, heterochromatin, nucleosome

Question 2: Explain the difference between mechanisms that initiate translation in bacteria and those in eukaryotes in about five lines.

Question 3: We studied the effect of temperature on the expression of gene *y* in a bacterium. We extracted RNA from the cells before and after increasing the temperature, and performed a Northern blot analysis using a DNA probe that specifically detects mRNA of gene *y* (right figure, WT). Next, a mutant strain lacking gene *x*, which encodes a transcription factor, was analyzed in the same way (right figure, Δx).

Based on the results shown in the right figure, explain the expression of gene *y* in this bacterium and the possible regulatory mechanism of its expression. The depth of shade of bands in the figure reflects the intensity of RNA signal after detection by Northern blot.



lanes 1, 2: WT (wild type strain), lanes 3, 4: Δx (mutant strain lacking gene *x*)
lanes 1, 3: before heat shock, lanes 2, 4: after heat shock
RNA size markers (nt) are shown on the right side of the panel.

Section 8: Cell Biology

Answer both question 1 and question 2

Question 1: Except for a few exceptions, replication of genetic information occurs in a semi-conservative manner. Describe the difference between conservative, semi-conservative and dispersive replication. Design and describe an experiment that demonstrates that DNA replication is semi-conservative. Describe the conditions required for the experiment to succeed, and the expected results when DNA replication was conservative, semi-conservative or dispersive.

Question 2: Use the following terms from the list below and describe the difference between animal and plant cell division during the M-phase.

<List of terms>

centrosome, phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate, chromosome, furrow, Cdk1, nuclear membrane, kinetochore, actin, DNA, condensation, tubulin, cell plate, kinesin, mitochondria, mitotic spindle, cell membrane, phragmoplast.

Section 9: Genetics

Answer all questions from question 1 to question 4.

Question 1: Various animals have been used as model organisms to investigate the molecular mechanisms of biological phenomena. Select two species from the list below and explain their advantages and disadvantages as model organisms in 10 lines or less for each species.

< List of animal species >

Caenorhabditis elegans (roundworm), *Drosophila melanogaster* (fruitfly), *Danio rerio* (zebrafish),
Mus musculus (mouse)

Question 2: In both prokaryotes and eukaryotes, a single gene can produce multiple types of proteins. Give three different examples and explain them in about five lines each.

Question 3: Small interfering RNA (siRNA) is known as one of the representative untranslated RNAs. Describe the role of siRNAs *in vivo* in five lines or less.

Question 4: Assuming that the template DNA sequence of a particular siRNA is known, explain a research strategy and method for investigating the role and mechanism of this siRNA in specific biological phenomena (within 15 lines or less).

Section 10: Developmental Biology

Read the following text and answer both question 1 and question 2.

In vertebrates, most adult bones are formed by the ossification of cartilages. In mice, cartilage is formed by chondrocytes secreting Collagen Type II in the fetal stage, which ossifies after birth. During ossification, it is thought that chondrocytes undergo apoptosis, and osteoblasts from outside the cartilage secrete Collagen Type I to form the matrix of bone. Subsequently, osteoblasts and osteoclasts maintain bone homeostasis.

The following experimental results were obtained on the differentiation of the bone in mice.

Experiment 1: In chondrocytes and osteoblasts, expression of mRNA for the collagen family genes was examined using RT-PCR. Only Collagen Type II mRNA was detected in chondrocytes, and only Collagen Type I mRNA was detected in osteoblasts.

Experiment 2: When primary chondrocytes were cultured with a drug, ninety percent of the chondrocytes died due to apoptosis. All surviving cells expressed Collagen Type I but not Collagen Type II.

Based on these results, we hypothesized that some chondrocytes differentiate into osteoblasts during ossification in mice.

Question 1: Explain how to test the hypotheses using the Cre-LoxP system. You can use figures.

It is assumed that the osteoblast and chondrocyte-specific promoters of the genes encoding Collagen Type I and Collagen Type II, respectively, have been identified.

Question 2: Explain how to test the hypothesis without using the Cre-LoxP system.

Cre-LoxP is a system that induces tissue/cell-specific recombination by expressing Cre, a DNA recombinase that targets specific DNA sequences called LoxP.

Section 11: Plant Physiology

Answer both question 1 and question 2

Question 1: Explain the following terms (1) to (8) in the context of cell biology, molecular biology and developmental biology in angiosperms in two to three lines each.

- (1) Nuclear genome and organelle genome
- (2) Double fertilization
- (3) Totipotency
- (4) De-etiolation
- (5) Reaction center chlorophyll
- (6) Nuclear localization signal
- (7) Agonist and antagonist
- (8) Metabolome

Question 2: Answer one question from the following options (1) to (3).

- (1) When plant *A* (♂) and plant *B* (♀) were crossed, the nuclear genome of plant *A* was eliminated during zygotic embryogenesis, resulting in the formation of seeds with haploid embryos possessing the plant *B* nuclear genome. However, the plant *A* nuclear genome was retained in the endosperms of the seeds. Formulate a hypothesis on why plant *A* and *B* nuclear genomes coexist in the endosperm, and design an experiment to test this hypothesis.
- (2) Plants are damaged when exposed to excessive intense light. Explain two molecular mechanisms of plant defense system against excess light.
- (3) Explain in detail the molecular mechanisms by which the plant hormone gibberellin is recognized by receptors and induces physiological responses.

Section 12: Animal Physiology

Read the following sentences and answer both question 1 and question 2.

Stimuli that animals receive can be roughly classified into electromagnetic, mechanical and chemical stimuli, depending on the type of energy that causes the stimuli. Answer the following questions on sensory perception.

Question 1: For each of the electromagnetic, mechanical and chemical stimuli, name two sensory modalities. Name the sensory receptors related to each of those six sensory modalities (e.g., receptor cells, sensory cells) in vertebrates.

Question 2: Provide one example each for electromagnetic, mechanical and chemical stimuli. Describe how those stimuli are transduced to electric signals, and how the signal is then transmitted to the central nervous system.

Section 13: Biophysics

Answer the following question

Question: Various discoveries in Physics and Chemistry have advanced life science research. Choose two of the following topics, explain them, and discuss their importance to the life science.

- (1) Hydrogen bond
- (2) Confocal laser scanning microscopy
- (3) Techniques for protein-protein interaction analysis
- (4) Planck constant

Section 14: Statistics

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: There are two types of larvae with 5 or 6 spines in two species of moths, species *A* and species *B*. A researcher investigated the within-species variation in the number of spines. In species *A*, 3 larvae had 5 spines and 34 larvae had 6 spines, whereas in species *B*, 11 larvae had 5 spines and 35 larvae had 6 spines. Is there a statistically significant difference in the frequencies of larvae with 5 and 6 spines between these two species? Perform a chi-square test using Table 1. The expected values should be calculated as integers by rounding off to the first decimal place.

Table 1. Chi-square distribution table

<i>P</i> (probability)	<i>df</i> = 1	<i>df</i> = 2	<i>df</i> = 3	<i>df</i> = 4
0.30	1.074	2.408	3.665	4.878
0.20	1.642	3.219	4.642	5.989
0.10	2.706	4.605	6.251	7.779
0.05	3.841	5.991	7.815	9.488
0.01	6.635	9.210	11.345	13.277

df: degree of freedom

Question 2: Design an experiment for which an analysis using a chi-square test with 3 degrees of freedom (*df* = 3) is appropriate. The materials and contents of your experimental design can include any components.

