

2020年度

東京都立大学大学院（現：首都大学東京大学院）

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 9：30～11：30

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。

2020

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4すべてに答えなさい。

問1 系統分類学において用いられる次の用語 (1)～(4) すべてについて説明しなさい。

- (1) Type specimen
- (2) Synonym
- (3) Homonym
- (4) Binominal nomenclature (= binomial nomenclature, binary nomenclature)

問2 次の種分化や種多様性に関する (1)～(4) の用語または理論から二つを選んで、それぞれ実例または支持する事例をあげて、ニッチ (生態的地位) と関連付けて説明しなさい。

- (1) Key innovation
- (2) Ecological speciation
- (3) Niche conservatism
- (4) Unified neutral theory of biodiversity

問3 海洋島の生物相には見られるが、大陸島の生物相には見られない特徴を二つあげ、説明しなさい。

問4 分子系統樹は属内種間の系統関係を類推するのに利用できる。複数の遺伝子を対象に分子系統解析を行うと、系統樹のトポロジーが遺伝子間で一致しないことがある。進化学的もしくは集団遺伝学的に考えられる原因を二つあげ、説明しなさい。

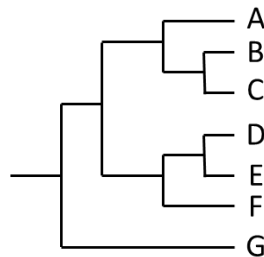
第2問 (Section 2) ; 進化生物学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 ある哺乳類の種が分岐する過程で体毛が褐色から黒色になる変化が独立に多数回起き、その原因となる突然変異のすべてが遺伝子 M に起こったとする。この場合、遺伝子 M にコードされたタンパク質の機能が突然変異によりどのように変化したと考えると複雑な仮定を置かずに説明できるか、理由とともに説明しなさい。

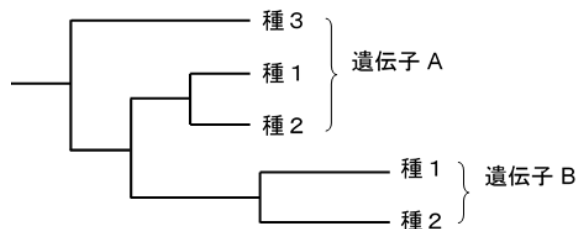
問2 下の図1はあるげっ歯類7種 (A～G) の系統関係を示している。ただし、系統樹の枝の長さは実際の遺伝距離を反映していない。これらの種のうち2種は体毛が黒色、他の種は褐色である。また、これらの種の外群となる種の情報から祖先種の体毛は褐色であったと考えられる。これら7種が分岐する過程で体毛の色が変化する突然変異が1回だけ起き、その変化は褐色から黒色であった可能性が最も高いと予測できる組み合わせが2通りある。A～Gの中から黒色である可能性が高い2種の組み合わせを2通り選びなさい。

図1



問3 下の図2は、生物種1、2、3における遺伝子 A 、 B の遺伝子系統樹である。枝の長さは、アミノ酸置換率を表す。遺伝子 B は、種1と種2の共通祖先が種3と分岐した後、遺伝子重複によって遺伝子 A から生じたことが分かる。遺伝子重複後、遺伝子 B はどのような進化を遂げたか、可能性を二つあげ、その中のどちらであるかを見分けるにはどうすればよいか説明しなさい。

図2



第3問 (Section 3) ; 動物生態学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

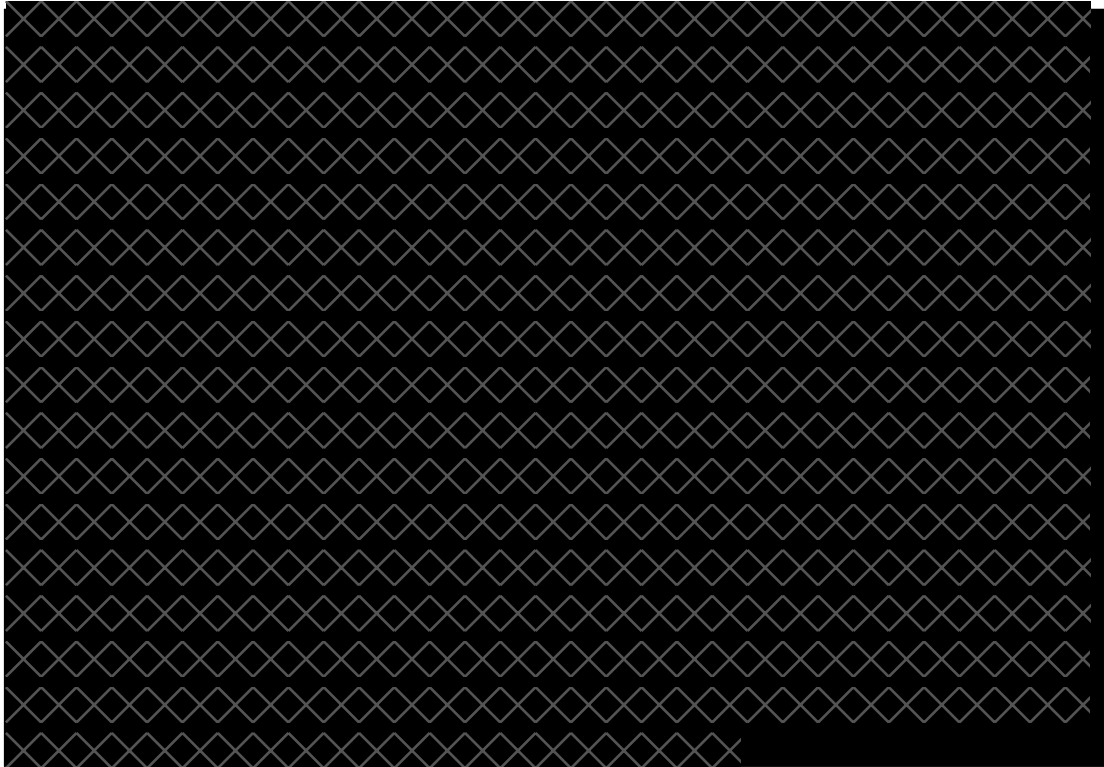
問1 動物の中には、クジャクの尾羽やシカの角のような、装飾や武器などの誇張形質を持つものがある。こうした性質の多くは性選択を経て進化したと考えられている。「性選択」が誇張形質を進化させる仕組みについて、次の四つの語句すべてを用いて10行程度で説明しなさい。

同性内選択、異性間選択、直接的利益、間接的（遺伝的）利益

問2 形態や行動などの生物の表現型は、遺伝子で一義的に決まるわけではなく、環境によって様々に変化しうる。つまり、遺伝的に同一な（あるいは遺伝的に類似した）同種の中でも、環境によって大きく異なる表現型を示すことがある。この現象を表現型可塑性という。動物において表現型可塑性によって大きく異なる表現型が現れる事例を一つあげなさい。また、その表現型可塑性の適応的意義（究極要因）を調べる方法を考え、説明しなさい。

第4問 (Section 4) ; 植物生態学

次の英文 (Steidinger et al. 2019, Nature, 569: 404–408 より、一部改変) を読み、以下の問1～問4すべてに答えなさい。



ectomycorrhiza ; 外生菌根、 arbuscular mycorrhiza ; 内生菌根の一種

問1 symbiosis とは何かを説明しなさい。

問2 mutualism とは何かを、菌根以外の例をあげ、説明しなさい。

問3 boreal forests とは何かを、temperate forests との違いがわかるように説明しなさい。

問4 ectomycorrhizal trees と arbuscular mycorrhizal trees の分布が異なる理由を説明する仮説を二つ考え、提案しなさい。また、その仮説の一つを検討する実現可能な実験を計画し、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)～(6)の項目から二つを選び、それぞれに関して5～10行程度で説明しなさい。

- (1) エネルギー獲得の様式
- (2) 炭酸固定の経路
- (3) 細胞運動の様式
- (4) 浸透圧ストレスへの応答
- (5) 細胞密度変化への応答
- (6) 細胞壁の構造

問2 地底湖が発見された。そこは、隔離された生態系が形成されていると考えられた。あなたなら、この地底湖の試料を使って、微生物学に関するどのような研究を行いますか。次の三つの項目について、説明しなさい。

1. 研究の特徴を表す研究題目、2. 目的または仮説、3. 研究方法

第6問 (Section 6) ; 生化学

生体膜に関する以下の問1～問4すべてに答えなさい。

問1 リン脂質は細胞膜を構成する主要分子の一つである。細胞膜を構成するリン脂質の化学構造を説明しなさい。

問2 脂質二重層からなる細胞膜の性質は、それを構成するリン脂質によって決定される。すべてのリン脂質の炭化水素鎖を飽和炭化水素に置き換えると、その脂質二重層の性質はどのようになるかを考察し、理由とともに説明しなさい。

問3 下に示す3種類のアミノ酸配列1、2、3のうち、膜タンパク質の膜貫通ドメインである可能性が最も高いものはどれか記号で答えなさい。また、他の二つの配列が膜貫通ドメインとして適当ではないと考える理由をそれぞれ説明しなさい。ただし、アミノ酸配列はアミノ酸の一文字表記で示してある。

- 1: **VAVGGGVFLLIPVLLLLPPLTW**
2: **VAEAGCVYLDSSVLELSGLTY**
3: **VAVAGCVFLLISVLLLLSGLTW**

問4 遺伝子 A はミトコンドリアマトリックスで機能するタンパク質をコードしている。遺伝子 A に由来するポリペプチドが、細胞質で翻訳されてから、成熟したミトコンドリアタンパク質となるまでの過程を説明しなさい。

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 次の(1)～(4)の用語すべてについて説明しなさい。

- (1) トポイソメラーゼ
- (2) アンチコドン
- (3) オペロン
- (4) スプライシング

問2 細胞に γ 線を照射すると、DNAに二本鎖切断が起こることがある。DNAの二本鎖切断を修復する様々な機構が知られている。DNAの二本鎖切断修復機構について説明しなさい。

問3 細菌XのゲノムDNAの一部を細菌Aのゲノムに組み込んだ細菌A変異株を作製した。細菌A変異株では細菌X由来遺伝子は発現し、タンパク質の合成が確認できた。同様に、細菌XのDNAを組み込んだ細菌BとCの変異株を作製したところ、細菌B変異株では細菌X由来遺伝子のmRNAの合成が起こらなかった。また、細菌C変異株では細菌X由来遺伝子のmRNAは合成されていたが、そのタンパク質はほとんど合成されなかった。細菌BとCそれぞれにおいて、細菌X由来遺伝子が発現しなかった理由を考え、説明しなさい。ただし、DNAを組み込むゲノム上の位置を変えても、これらの実験結果は変わらなかったとする。

第8問 (Section 8) ; 細胞生物学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 Telophase における核ラミンの重合と, Prophase ならびに Prometaphase における核ラミナの崩壊を制御する仕組みを説明しなさい。また、核ラミナの崩壊を阻害したとき、細胞にどのような影響があると考えられるかを答えなさい。

問2 メダカには、メラノフォアとよばれる色素細胞がある。この色素細胞はメラノソームとよばれる小さな有色の細胞小器官をもち、それが細胞の中で拡散、凝集すると体色が変化する。拡散しているメラノソームはキネシンと結合し、凝集しているメラノソームはダイニンと結合していた。この結果から、メラノソームの凝集と拡散が起こるメカニズムを考え、説明しなさい。

問3 筋収縮の過程を次の語群から適当な用語を選んで、説明しなさい。

語群 ; アクチン、ミオシン、キネシン、ダイニン、トロポニン、トロポミオシン、ラミン、チューブリン

第9問 (Section 9) ; 遺伝学

次の文章を読み、以下の問1～問5すべてに答えなさい。

キイロシヨウジヨウバエでは、歩行活動の概日リズムを制御する遺伝子 *period (per)* は X 染色体上に存在し、細胞学的染色体地図の 1A～3F の範囲内に位置する (図1)。また、X 染色体の一部を欠失した染色体欠失系統 1、2、3 が存在する。

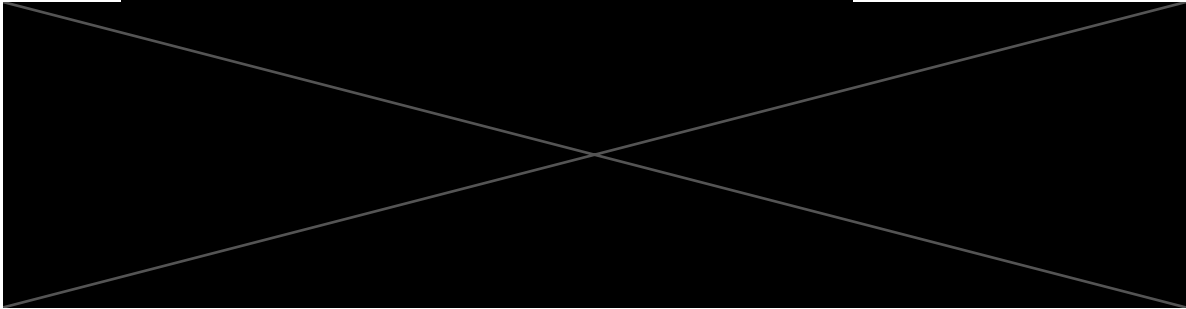


図1 キイロシヨウジヨウバエ唾腺染色体 (X 染色体)
左腕左端の細胞学的染色体地図 (Siegel and Hall, 1974, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 76:3430-3434 の図を改変)。黒い横棒は各欠失系統の染色体欠失領域を示す。

- 問1 遺伝子 *per* が X 染色体上に存在することを交配実験により確認するためには、どのような交配を行い、どのような結果が得られればよいか答えなさい。
- 問2 概日リズムが消失する変異体 *per⁰¹* は遺伝子 *per* の点突然変異により生じた null mutant である。*per⁰¹* 突然変異アレルが劣性 (潜性) 突然変異アレルであることを交配実験により確認するためには、どのような実験を行い、どのような結果が得られればよいか答えなさい。
- 問3 新たに歩行活動概日リズムが消失する変異体 *tokiless* を見出した。しかし、変異体 *tokiless* は遺伝子 *per* の突然変異ではなかった。変異体 *tokiless* が遺伝子 *per* の突然変異ではないことを交配実験により確認するためにはどのような実験を行い、どのような結果が得られればよいか答えなさい。
- 問4 変異体 *tokiless* のメスと欠失系統 1、2、3 のオスを交配し、それぞれの F₁ のメス個体を得た。それらの歩行活動概日リズムを測定したところ、欠失系統 2 の交配により得られた F₁ のメスのみ概日リズムが消失していた。図1の細胞学的染色体地図を参照し、変異体 *tokiless* の原因遺伝子の X 染色体上の位置を推定しなさい。また、その理由を簡潔に説明しなさい。
- 問5 遺伝子 *per* が X 染色体上の 3B に位置することが分かった。欠失系統 1、2、3 すべてを用いてそれを証明するためにはどのような実験を行い、どのような結果が得られればよいか答えなさい。

第10問 (Section 10) ; 発生生物学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 動物の未受精卵内における非対称性の例を一つあげ、胚発生においてその非対称性が細胞の発生運命決定の過程にどのように関わっているのかを説明しなさい。

問2 ある脊椎動物の胚において、転写因子 A をコードする遺伝子 A の発現を抑制すると肺が形成されなかった。肺の形成における転写因子 A の役割を明らかにする研究を計画し、記述しなさい。

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 植物の生理学、発生生物学、生化学、分子生物学に関連する次の用語 (1) ~ (8) すべてについて、説明しなさい。

- (1) 自家不和合性
- (2) 花粉管ガイダンス
- (3) 頂芽優勢
- (4) CRISPR/Cas9
- (5) クリプトクロム
- (6) 作用スペクトル
- (7) リブローズ-1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ
- (8) 成長相転換

問2 次の (1) ~ (3) のうちから一つを選んで答えなさい。

- (1) 重複受精の過程で精細胞と卵細胞の融合により受精卵が生じ、受精卵核中で雌雄配偶子のゲノムが混ざり合う。受精卵ゲノムからは、父性アレルもしくは母性アレルのみから発現する遺伝子があり、このような片親アレル特異的遺伝子発現が正常な発生に重要であると考えられている。被子植物の胚において片親アレル特異的に発現する遺伝子群を特定し、それらの片親アレル特異的遺伝子発現が胚発生に重要であるかを調べる実験を考え、説明しなさい。
- (2) 日長の変化に応答した植物の花芽形成の機構について、10行程度で説明しなさい。
- (3) ある植物で気孔の閉鎖や種子の休眠に、植物ホルモンのアブシシン酸 (ABA) がシグナル分子として関わっていることが分かった。この植物のABAの受容体を同定する実験を考え、説明しなさい。

第12問 (Section 12) ; 動物生理学

次の文章を読み、以下の問1～問6すべてに答えなさい。

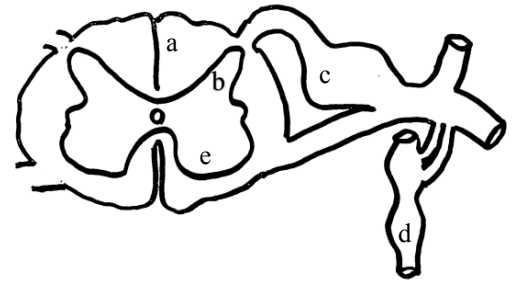
膝蓋腱反射は、膝頭の下にある膝蓋腱をたたくことにより、大腿四頭筋内の①受容器を刺激することで、反射的に同筋が収縮し、膝関節が伸びて下腿が前方へ伸展する伸展反射の一例である。

問1 下線部①の受容器の名称およびその適刺激を答えなさい。

問2 下線部①の受容器が適刺激を電気的信号に変換する仕組みを5行程度で説明しなさい。

問3 右の図は脊髄とその周辺の模式図である。次の(1)、(2)すべてに答えなさい。

- (1) 下線部①の受容器からの求心性入力伝える感覚ニューロンの細胞体は、図のa～eの部位のうちどこにあるか答え、その部位の名称を書きなさい。
- (2) 大腿四頭筋に対する運動ニューロンの細胞体は、図のa～eの部位のうちどこにあるか答え、その部位の名称を書きなさい。



図：脊髄とその周辺の模式図

問4 問3の感覚ニューロンと大腿四頭筋運動ニューロンとの間の接続部分と、同運動ニューロンと大腿四頭筋との間の接続部分の構造、および情報伝達のしくみについて類似点と相違点を示しながら15行程度で述べなさい。

問5 膝蓋腱反射の際、大腿四頭筋の拮抗筋に対する運動ニューロンにはどのような入力が入るか。またその入力はいかなる神経回路を経由してもたらされるか。5行程度で述べなさい。

問6 伸展反射の役割を簡潔に述べなさい。

第13問 (Section 13) ; 生物物理学
次の問いに答えなさい。

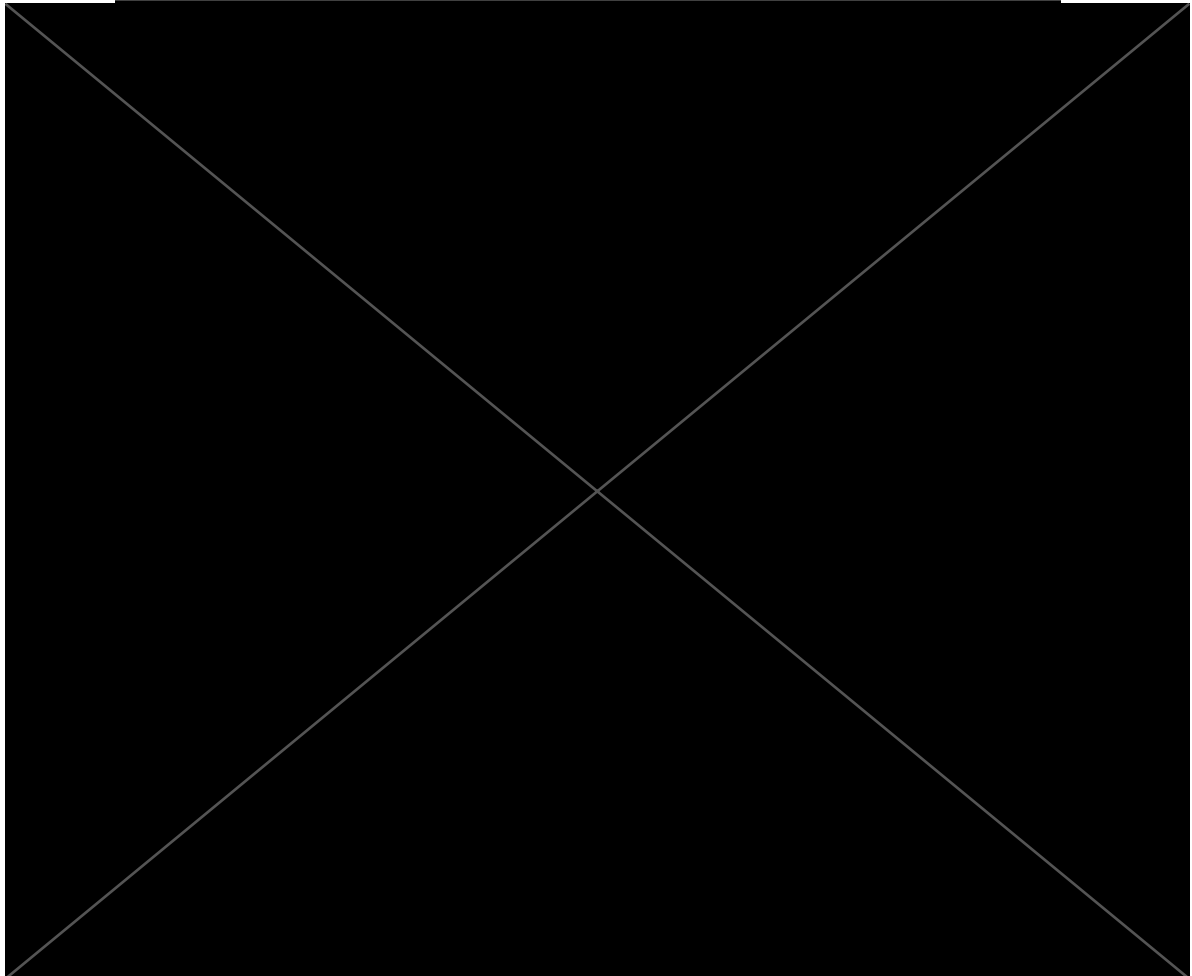
問 物理学・化学に関するさまざまな発見が生命科学研究を発展させてきた。次に示す発見や発明 (1) ~ (4) の中から二つを選び、それぞれを説明するとともに生命科学分野における重要性について論じなさい。

- (1) 化学浸透説 (The chemiosmotic hypothesis)
- (2) X線回析法 (X-ray diffraction)
- (3) ギブズの自由エネルギー (Gibbs free energy)
- (4) 光ピンセット (Optical tweezer)

第14問 (Section 14) ; 生物統計学

次の文章を読み、以下の問1～問4すべてに答えなさい。

北米に棲息するある魚の産卵数、卵サイズ、総卵重を調べた。下のグラフは、これらの結果を棲息地の緯度ごとに示したものである (Fleming & Gross, 1990, Ecology 71:1-11 より)。産卵数、卵サイズ、総卵重の結果をそれぞれ (A)、(B)、(C) に示す。



問1 標準誤差 (SE) と標準偏差 (SD) について、違いが分かるように説明しなさい。

問2 ここで使っている統計手法の名称を答えなさい。

問3 自由度の値を答えなさい。

問4 上のグラフに示す統計解析の結果をふまえて、緯度とこの魚の産卵数、卵サイズ、総卵重との関係を考え、答えなさい。

Section 1; Systematics

Answer questions 1 to 4.

Question 1: Explain the following terms (1) – (4) used in taxonomy and systematics.

- (1) Type specimen
- (2) Synonym
- (3) Homonym
- (4) Binominal nomenclature (= binomial nomenclature, binary nomenclature)

Question 2: The following (1) – (4) are terms and theories related to speciation or species diversity. Choose two of them and explain. Include an example or supporting evidence in your answer and explain how it is related to the concept of ecological niches.

- (1) Key innovation
- (2) Ecological speciation
- (3) Niche conservatism
- (4) Unified neutral theory of biodiversity

Question 3: What characteristics of biota of oceanic islands are not observed in continental island biota? Describe two such characteristics.

Question 4: Phylogenetic relationships among species in a genus can be estimated through molecular phylogenetic analyses. However, the topologies of phylogenetic trees used in this form of analysis are often inconsistent among different genes. Describe two possible reasons for this outcome in terms of evolutionary biology and population genetics, and explain how they can lead to inconsistent results.

Section 3; Animal Ecology

Answer questions 1 and 2.

Question 1: Many animals possess exaggerated ornaments and weapons, such as peacock tails or deer antlers. Generally, these traits are considered to have evolved via sexual selection. Explain how sexual selection contributes to the evolution of these traits using the words listed below (approximately 10 lines).

intrasexual selection, intersexual selection, direct benefit, indirect benefit (genetic benefit).

Question 2: The phenotype of an organism, both in terms of morphology and behavior, is determined not only by genes, but also by the environment. Consequently, genetically identical (or similar) conspecific individuals can exhibit diverse phenotypes. This phenomenon is called phenotypic plasticity. Provide one example of phenotypic plasticity in an animal species, and describe a research plan to uncover the adaptive significance (ultimate driver) of that plasticity.

Section 4; Plant Ecology

Read the following paragraph modified from Steidinger et al. (2019, Nature 569: 404–408) and answer questions 1 to 4.



Question 1: Describe what symbioses are.

Question 2: Provide an example of mutualism other than mycorrhizal symbiosis and describe what mutualisms are.

Question 3: Describe what boreal forests are with emphasis on how they differ from temperate forests.

Question 4: Formulate and describe two hypotheses that explain why the geographical distributions of ectomycorrhizal trees and arbuscular mycorrhizal trees differ, and design a feasible experiment to test one of these hypotheses.

Section 5; Microbiology

Answer questions 1 and 2.

Question 1: Choose two topics from the following six regarding prokaryotic metabolism and physiology and explain in approximately 5 to 10 lines in each case.

- (1) Energy acquisition systems
- (2) Carbon fixation pathways
- (3) Types of cellular motility
- (4) Responses to osmotic stress
- (5) Responses to changing cell density
- (6) Structure of the cell wall

Question 2: An underground lake was discovered. It seems that the ecosystem is isolated.

Propose a possible microbiological research project using environmental samples from this lake. Describe the (1) title, which describes the key features of your project; (2) aims or hypotheses; (3) research strategy.

Section 6; Biochemistry

Answer questions 1 to 4 about the cell membrane.

Question 1: Phospholipids are the major constituents of cell membranes. Describe the chemical structure of phospholipids in cell membranes.

Question 2: The nature of a cell membrane (a phospholipid bilayer) is determined by the properties of its phospholipid molecules. How would the nature of a cell membrane change if all of the hydrocarbon tails of phospholipids were saturated? Explain why.

Question 3: Which of the amino acid sequences listed below (1, 2, and 3) is the most likely candidate to form a transmembrane domain of a membrane-spanning protein? Explain why you think other sequences are not appropriate for this role. Amino acid sequences are shown as single-letter amino acid codes.

- 1: **VAVGGGVFLLIPVLLLPPLTW**
- 2: **VAEAGCVYLDSSVLELSGLTY**
- 3: **VAVAGCVFLLISVLLLSGLTW**

Question 4: Gene *A* encodes a protein that functions within the mitochondrial matrix. Describe the sequence of events from the translation of the gene *A* transcript within the cytosol to the formation of the mature mitochondrial protein.

Section 7; Molecular Biology

Answer questions 1 to 3.

Question 1: Describe the following terms related to Molecular Biology.

- (1) Topoisomerase
- (2) Anticodon
- (3) Operon
- (4) Splicing

Question 2: Irradiation of cells with gamma rays causes double-strand breaks in DNA. Describe mechanisms that repair breaks in double-strand DNA within cells.

Question 3: A portion of the genome from bacterium X was integrated into the genome of bacterium A. The mutant strain of bacterium A expressed proteins encoded by genes derived from bacterium X. When the same genomic region from bacterium X was integrated into the genome of bacterium B, genes from bacterium X were not transcribed. When the same genomic region from bacterium X was integrated into bacterium C, genes from bacterium X were transcribed, but translation from the mRNA was severely restricted. Describe possible mechanisms that explain these patterns. Note that similar results were obtained when the same portion of the genome of bacterium X was integrated into different positions of the genomes of bacteria B and C.

Section 8; Cell Biology

Answer questions 1 to 3.

Question 1: Describe the mechanism that regulates assembly of nuclear lamin during telophase and disassembly of nuclear lamina during prophase and prometaphase. Explain what would happen to the cell if disassembly of nuclear lamina was inhibited.

Question 2: Medaka fish (*Oryzias latipes*) have pigmented cells called melanophores that possess small pigmented organelles called the melanosome which aggregate and disperse according to change in body color. If it is observed that dispersed melanosomes are bound to kinesin and aggregated melanosomes are bound to dynein, discuss possible mechanisms that might regulate melanosome aggregation and dispersal.

Question 3: Explain the process of muscle contraction using appropriate words chosen from the list below.

actin, myosin, kinesin, dynein, troponin, tropomyosin, lamin, tubulin

Section 9; Genetics

Read the following paragraph and answer questions 1 to 5.

The *period* (*per*) gene of the fruit fly *Drosophila melanogaster* regulates the circadian rhythm of locomotor activity, and has been mapped to the 1A – 3F region of the X chromosome (Figure 1). Three deficiency lines lacking portions of the X chromosome are available.

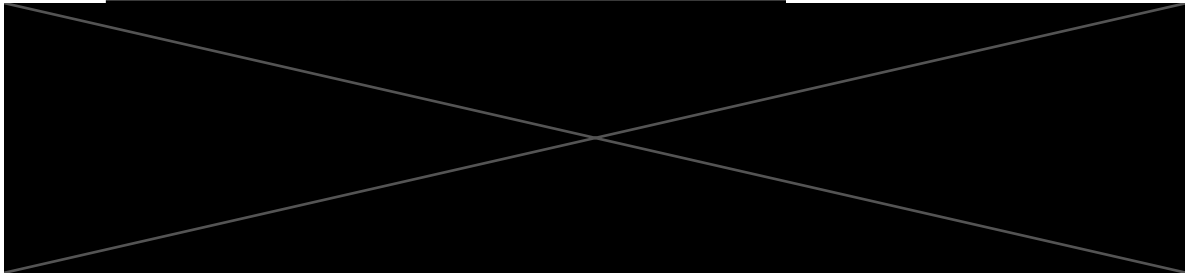


Figure 1. The polytene X chromosome of *Drosophila melanogaster*.

Cytological map of the X chromosome (modified from Siegel and Hall, 1974, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 76:3430-3434). About one-sixth of the chromosome at the end distal to the centromere is shown. Horizontal black bars show chromosomal regions lacking in each deficiency line.

Question 1: Design mating experiments to demonstrate that the *per* gene is located on the X chromosome and explain the expected results.

Question 2: The null mutant *per⁰¹*, which harbors a point mutation in the *per* gene, shows arrhythmic locomotor activity. Design mating experiments to demonstrate that *per⁰¹* is a recessive mutant allele and explain the expected results.

Question 3: *tokiless* is a new mutant line which shows arrhythmic locomotor activity. However, there was no mutation in the *per* gene in this mutant. Design a series of mating experiments to confirm that *tokiless* mutants have wild-type *per* allele and explain the expected results.

Question 4: F₁ females from the cross between *tokiless* females and Deficiency-2 males (*tokiless*/Deficiency-2) showed arrhythmic locomotor activity. However, *tokiless*/Deficiency-1 and *tokiless*/Deficiency-3 females showed normal circadian behavioral rhythms. Based on this information, where might the causal gene of the *tokiless* mutant be located? Describe the likely position of the gene using the cytological map in Figure 1 and explain your answer.

Question 5: The *per* gene was mapped to the 3B region on the X chromosome. Design a series of experiments to confirm that the *per* gene is located in the 3B region, and explain the expected results. Use all three deficiency lines, Deficiency-1, 2 and 3, in your experiments.

Section 10; Developmental Biology

Answer questions 1 and 2.

Question 1: Name an example of a known spatial asymmetry within the unfertilized egg of an animal, and explain how this asymmetry affects cell fate determination during the ensuing embryogenesis.

Question 2: Assume you have isolated a gene *A*, which encodes transcription factor *A*. Knockout of gene *A* results in loss of the lung. Design and describe a series of experiments aimed at uncovering the role of transcription factor *A* in lung development.

Section 11; Plant Physiology

Answer questions 1 and 2.

Question 1: Explain the following terms (1) – (8) related to physiology, developmental biology, biochemistry, and molecular biology of plants.

- (1) Self-incompatibility
- (2) Pollen-tube guidance
- (3) Apical dominance
- (4) CRISPR/Cas9
- (5) Cryptochrome
- (6) Action spectrum
- (7) Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase
- (8) Growth phase transition

Question 2: Answer one of the questions (1) – (3) listed below.

- (1) Upon double fertilization, one sperm cell fuses with the egg cell to form a zygote, and the male and female genomes are mixed in the zygotic nucleus. It has been supposed that genes expressed in zygotes only from paternal or maternal alleles are essential for normal development of embryos. Design and describe a series of experiments to identify genes expressed in monoallelic fashion in angiosperm embryos, and examine whether the monoallelic mode of expression is important for embryogenesis.
- (2) Explain the mechanism of flower bud formation in response to changes in photoperiod in about 15 lines.
- (3) It was found in a plant species that the plant hormone, abscisic acid (ABA), acts as a signaling molecule regulating stomatal closure and seed dormancy. Design and describe a series of experiments to identify ABA receptors in this plant species.

Section 12; Animal Physiology

Read the following paragraph and answer questions 1 to 6.

The patellar tendon reflex (knee-cup reflex, knee jerk) is a stretch reflex in which striking of the patellar tendon with a reflex hammer just below the patella stimulates a receptor, receptor X, in the quadriceps muscle and causes the leg to kick due to reflex contraction of the muscle.

Question 1: What is the name of receptor X and its adequate stimulus?

Question 2: Explain how receptor X transduces the adequate stimulus to an electrical signal (approximately 5 lines).

Question 3: The diagram on the right shows the spinal cord and surrounding structures. Where are the cell bodies of (1) and (2) below? Choose the appropriate letter for each of the cell bodies from the diagram and name the location.

- (1) The sensory neuron which conveys the afferent information from receptor X
- (2) The motor neuron which innervates the quadriceps muscle

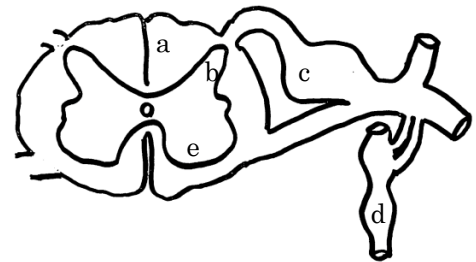


Figure: Spinal cord and surrounding structure

Question 4: Describe the structure and mechanism of signal transduction of the two neuronal junctions listed below. Discuss similarities and differences between the two junctions in your answer (approximately 15 lines).

junction A: junction between the sensory neuron and the motor neuron

junction B: junction between the motor neuron and the quadriceps muscle

Question 5: Describe the type of synaptic input received by the motor neuron which innervates the antagonistic muscle of the quadriceps muscle. Describe the neuronal pathway through which this motor neuron receives this input (approximately 5 lines).

Question 6: Briefly describe the role of stretch reflex in animals.

Section 13; Biophysics

Answer the following question

Question: Various discoveries in Physics and Chemistry have advanced life science research.

Choose two of the following discoveries and inventions, explain them, and discuss their importance to the life sciences.

- (1) The chemiosmotic hypothesis
- (2) X-ray diffraction
- (3) Gibbs free energy
- (4) Optical tweezers

Section 14; Biostatistics

Read the following paragraph and answer questions 1 to 4.

Egg number, egg size and total egg mass of a fish species in North America were examined. The graphs below show (A) egg number, (B) egg size, and (C) total egg mass from different populations at different latitudes (from Fleming & Gross, 1990, Ecology 71: 1-11). The closed circles and vertical bars show the mean and standard error (SE), respectively.

Question 1: Define standard error (SE) and standard deviation (SD) with emphasis on the difference between these two measures.

Question 2: What is the statistical method used here?

Question 3: What is the degree of freedom in this analysis?

Question 4: Discuss the relationships between the latitude, and egg number, egg size, and total egg mass using results shown in graphs (A), (B), and (C).

