

科目記号	科目名
H	育種生物学

解答（解答例）・出題の意図

出題内容：海洋植物学

出題番号 241

【解答例】

- (1) 極性とは、発生生物において細胞・細胞集団・組織または個体のレベルで一つの方向に沿って、各部分相互の相対的位置関係に関連した形態的または生理的特性の差異を示すこと。また、ヒバマタ目褐藻の接合子は光を受けた面と逆の方向にカルシウムイオンの細胞内局在が生じるなど、細胞内で物質や小器官の移動を伴い頂端細胞と基底細胞の位置が決定する、など。
- (2) 葉状部は成熟期になると生殖器床と呼ばれる雌性生殖器巢あるいは雄性生殖器巢を有する特別な枝を作る、それぞれの生殖器巢で精子と卵が作られるといった内容を含むことが解答上必須である。
- (3) ラップモクと呼ばれるサンゴ礁域に生育する褐藻ヒバマタ目の一種は、海水の流動が激しい外海に面した個体は気胞内にガスの容量が少ない一方、海水の流動が比較的少ない内湾にいる個体は、気胞内に十分なガスが充填されて海面に向かって直立する、などの例を示す。
- (4) 短日条件下では配偶体の成熟が促進され、長日条件下では逆に抑制される、など。

【出題の意図】

植物の発生のモデルとなっているヒバマタ受精卵の付着、発生および形態形成に関する出題であり、海藻における発生の基本的事項を問うものである。またヒバマタ類の形態的特徴を把握すると共に、光環境など環境との相互関係についての理解度を問う問題である。

出題番号 242

【解答例】

- (1) 液漬標本は形態が残る一方で脱色するといった欠点を有する。一方、腊葉標本は脱色が起こりにくいものの、押し葉とするので組織が変形する可能性がある、など。
- (2) ピペット洗浄法、寒天プレート洗浄法などの方法があり、具体的に説明する必要がある。また、培養容器や培地の滅菌、使用器具の滅菌、無菌室やクリーンベンチの利用などが有効である、など。
- (3) 過度の乾燥や温度変化によるストレスを与えないような運搬が必要となる、など。
- (4) 対象となる海藻の栄養要求性を調べたい時など、培地の化学的組成が明確である必要がある場合、などの記述が求められる。

【出題の意図】

海藻を採取してから培養するまでの基礎的手順について、その取扱いの基本を理解しているか、また培養する際に知っておくべき事項を確認することを本出題の意図とする。

出題内容：水族発生生物学

出題番号 251

【解答例】

- (1) この問題では本文に書かれた英文を正しく和訳できることが求められる。
細胞増殖，分化，移動，そして細胞死は，単一の細胞レベルから個体レベルに至るまで，さまざまなスケールで制御されなければならない。そうすることで，1個の細胞から1つの生物が形成されることが可能となる。
- (2) この問題では専門用語についての知識が求められる。
リガンド，受容体
- (3) この問題ではシグナル伝達について説明できることが求められる。
細胞外に存在するリガンドが細胞膜上の受容体に結合すると，受容体の構造変化や酵素活性の変化が誘導され，細胞内シグナル伝達を開始される。
このシグナルは，リン酸化反応やセカンドメッセンジャーの産生を介した多段階のシグナル伝達カスケードとして細胞内に伝えられ，途中で増幅および統合が行われる。
最終的に，これらのシグナルは転写因子や細胞機能制御因子を調節し，遺伝子発現の変化や細胞機能の修飾を通じて，増殖，分化，移動，あるいは細胞死といった特異的な細胞応答を引き起こす。
- (4) この問題では専門用語についての知識が求められる。
モルフォゲン
- (5) この問題では胚発生過程におけるモルフォゲンによる誘導現象について説明できることが求められる。本文では，この部分の次に下記の文章が続く。
Such gradients, also termed morphogen gradients, have been shown to organize the embryo into its anteroposterior (head to tail), dorsoventral (back to front), proximodistal and left-right axes.
すなわち，これらの事象のどれかについて具体的な説明が解答となる。

出題番号 252

【解答例】

- (1) この問題では，以下の nanog の機能に関する2つの対立する仮説を記述することが求められる。
It has been suggested that Nanog is primarily required for the proper formation of the extra-embryonic yolk syncytial layer (YSL) and only indirectly regulates gene expression in embryonic cells. In an alternative scenario, Nanog has been proposed to directly regulate transcription in embryonic cells during zygotic genome activation.
ゼブラフィッシュの Nanog 遺伝子の役割については議論が分かれている。一つの説では，Nanog は主に extra-embryonic 組織である YSL の形成に必要であり，将来胚体を形成する胚細胞での遺伝子発現には間接的にしか関与しないとされている。一方で別の説では，Nanog は胚細胞で直接的に転写を制御しており，胚性ゲノム活性化 (ZGA) に関与していると考えられている。これらの相反する仮説により，Nanog の正確な機能は未解明な点が多く，

"controversial" (論争がある) とされている。

- (2) この問題では、発生初期の ZGA について理解し、説明できることが求められる。

ZGA とは、母性由来の RNA やタンパク質に依存していた胚が、自己のゲノムを活性化して転写を開始する過程である。魚類では、胞胚期より胚性由来の転写が始まり、それは、母性因子の分解や細胞分化開始などに重要である。

- (3) この問題では、それぞれ変異体の違いを理解し、遺伝子の働く時期や細胞を説明することが求められる。

Maternal 及び maternal zygotic で表現型が見られるため、母性因子としての *nanog* が正常発生に必要である。したがって、「卵形成期に卵母細胞で発現した *nanog*」が正答。

- (4) この問題では、YSL formation と epiboly という初期胚における重要な発生現象を理解し、説明できることが求められる。

YSL (卵黄多核層) は魚類初期胚において胚盤の周縁部及び下部に形成される多核構造で、胚の形態形成と栄養供給に重要である。Epiboly とは、卵黄多核層の細胞質が植物側へ広がる運動と、被覆層が植物極側へ広がる運動が重なったものである。

- (5) 一連の実験結果から本研究の論旨が理解できたかを問う問題である。

結論

Nanog は主に extra-embryonic な YSL の形成と機能に必要であり、胚細胞の分化には直接必要ではない。

実験手法と結果

MZnanog 変異体の表現型解析により、YSL の形成不全および epiboly 異常が観察された。キメラ実験により、MZnanog 由来の胚細胞を野生型の植物極側 (YSL を含む) と組み合わせると、epiboly が正常化し発生が進行した。

さらに、Nanog 欠損細胞は Nodal シグナルに応答し、野生型胚への移植実験では胚性組織および成体器官のすべての胚葉に寄与できた。

【出題の意図】

進学後に育種生物学分野での研究を希望する受験者は水族発生生物学を選択すると考えられる。育種生物学分野、特に魚類を用いた研究室において、進学後に発生生物学に関連する研究を志す受験者にとっては、魚類をモデルとした初期発生現象を遺伝子レベルで解析する力が求められる。また、最先端の研究に取り組むためには、発生生物学分野の最新の知見を英語の学術論文からの確に読み取り、理解する能力も不可欠である。本試験では、発生遺伝学および発生工学に関する基本的な知識や思考力を問うとともに、英文論文の論理構造や内容把握力を評価することで、研究に必要な基礎能力を測ることを目的として、当分野に関連するシグナル伝達と誘導因子 (出題番号 251)、および生殖幹細胞 (出題番号 252) を中心とした問題を出題した。

出題内容：水族遺伝育種学

出題番号 261

【解答例】

- (1) この問題では英文を正しく解釈し、日本語として説明できることが求められる。
1文目の和訳「セントロメアは、姉妹染色分体を結びつける染色体上のくびれた領域であり、真核生物における染色体分配に必須である。」
- (2) この問題ではヒストンについて正しい知識を有することが求められる。
CENP-A とヒストン H3
- (3) この問題では染色体の構造に関する正しい知識を有することが求められる。
動原体 動原体はセントロメア上に形成されるタンパク質複合体であり、紡錘体微小管と結合して染色体を細胞分裂時に正確に両極へ分配する役割を担う。
- (5) この問題では英文を正しく解釈し、日本語として説明できることが求められる。また、文章で表された内容について正しくイメージし、分かりやすく伝える能力が求められる。
(説明の例：6点) ホロセントリックと呼ばれる非典型的なセントロメア構造では、セントロメアが染色分体の全長にわたって分布している。ホロセントロメアがテロメアからテロメアまで分布しているため、姉妹染色分体は全長にわたって結合しており、分裂期染色体では一次狭窄をもたない2本の平行な構造として観察される。
(図：4点) モノセントリック染色体とホロセントリック染色体の動原体の位置と数、姉妹染色分体について比較できるように示されている必要がある。

出題番号 262

【解答例】

- (1) (解答例) 各2点。最大6点。
- ・ electroporation により、Cas9 を大量の配偶子・胚に一括導入する
 - ・ 軟体動物の高い繁殖力を利用し、低い編集成功率を個体数で補う。
 - ・ GFP などの蛍光タンパク質を導入し、FACS による選抜を行う。
 - ・ 抗生耐性遺伝子を選択マーカーとして利用する。
- (2) (解答例)
本文では、編集効率が低いこと以外にも、モザイクの問題が課題として示されている。編集が核分裂後に起こると、同一個体内で遺伝子型の異なる細胞が混在する可能性があり、これにより編集効果の評価が困難になる。本文では、配偶子段階で編集を行うことでこの問題を低減できる可能性が示されている。
- (3) (解答例)
ゲノム編集は特定の遺伝子を直接改変できる利点があるが、多くの形質 (例：耐病性や成長)

は多数の遺伝子が関与する量的形質である。そのため、単一または少数の遺伝子を編集しても、形質全体への効果が限定的な場合がある。

(4) (解答例)

例示 2点 ゲノム選抜

説明 5点 ゲノム選抜では、全ゲノムにわたる多数の DNA マーカー情報を用いて育種価を予測するため、表現型が現れる前でも高精度な選抜が可能である。環境の影響を受けやすい形質についても遺伝的能力を評価でき、表現型選抜と比べ育種速度を向上させることができる。

【出題の意図】

進学後に育種生物学分野での研究を希望する受験者は水族遺伝育種学を選択すると考えられる。育種生物学分野において遺伝育種学に関連する研究を志す受験者にとっては、分子レベルでの遺伝学の知識を有することが求められる。また、最先端の研究に取り組むためには、遺伝学分野の最新の知見を英語の学術論文から的確に読み取り、理解する能力も不可欠である。本試験では、遺伝学に関する基本的な知識や思考力を問うとともに、英文論文の論理構造や内容把握力を評価することで、研究に必要な基礎能力を測ることを目的として、当分野に関連する染色体に特徴的な配列と構造（出題番号 261）、および育種技術（出題番号 262）を中心とした問題を出題した。