

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) 栄養添加型培地は経済的であるが不明な成分が含まれている。一方、人工（合成）培地は組成が明確であるが経済的でないことや、厳密な実験系の場合人工海水に比べて再現性に乏しい傾向があるなどの記述が求められる。

(2) 栄養要求株。付着あるいは共生するバクテリア等により供給されるビタミン B₁₂ を吸収することになる、など。

(3) 海水培地の pH は 8.0 前後で、緩衝剤として Tris, NTA, glycylglycine, HEPES, TAPS, Bicine, MES 等が培地に添加される、など。

(4) 培地の pH 条件下での主要な無機炭素は重炭酸イオンであり、海藻はその重炭酸イオンを能動的に細胞内に取り込み、葉緑体包膜で CO₂ に変換する経路や、細胞外炭酸脱水酵素によって CO₂ に変換したのち細胞内に取り込む経路を持つ。その後、主にカルビン回路によって炭素同化が行われる、など。

(5) 炭素源や栄養塩類の拡散を促進し、海藻体表面の境界層の低下を導く効果がある、など。

出題番号 242

【解答例】

(1) 海洋における一次生産のほとんどが植物プランクトンであるのに対し、そのバイオマスの三分の二は海藻を含む大型植物である。特に単位面積当たりの大型植物のバイオマスはや植物プランクトンの 360 倍に達する。また海藻の方が低い回転率を示し、世代交代が遅いなどの記述が求められる。

(2) オオウキモ *Macrocystis pyrifera* など：柔組織で体を構成し、師管といった縦につながる細長い細胞でつながる構造は、栄養の体内移動に貢献している。また気胞と呼ばれる浮力をもたらし器官が発達し、海底から立ち上がることが出来る。典型的な異形世代交代を示す褐藻で、雌雄の配偶体が成熟し、卵と精子が受精後出現する孢子体が大形化し多年生である。葉状部基部に孢子葉が形成され、そこで減数分裂の後遊走子が形成され、放出後再び雌雄の配偶体に戻る、など

(3) マクサは直立体と匍匐枝で構成され、匍匐枝から新たな直立体が形成されることで活発な栄養繁殖をする、など

(4) 二次共生で出現し、中空の鞭毛小毛を持った生殖細胞を形成する特徴を持っている点で珪藻等と同じ特徴を有する内容を含む必要がある。

(5) 海藻が成長に必要な栄養塩の供給がある環境下で、ウニのような植食動物が食物連鎖の頂点にいる場合海藻バイオマスは減少し、植食動物を捕食するラッコのような高次動物が増えることで植食動物を捕食し、そのバイオマスが減少し、結果的に海藻が被食されず成長し藻場が回復される事例が報告されている、など。

【出題の意図】

【241】海藻の生物学的特性を理解する上で、培養は重要なツールであり、研究遂行上必要不可欠な技術の一つである。また、培養に関する様々な知識等を理解していなければ実践できない。そこで、海藻の培養技術を十分理解しているか否かを確認することを本出題の意図とする。

【242】海洋の中で重要な役割を担う海藻の生物学的特性を把握していることは、天然の生育環境での持続的な生産や増養殖を考える上で極めて基礎的かつ重要である。本問題は、社会や文化を支える有用海藻資源の持続的な生産には様々な知識とその理解が不可欠であり、その知識と理解度を問うものである。

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。

精子形成では、急速な細胞分裂と特異的な転写プログラムが関与し、高度に凝縮したクロマチンを持つ運動性のある細胞が形成される。

- (2) この問題では精子形成過程についての知識が求められる。

精原細胞：体細胞分裂によって増殖する細胞。未分化型と分化型が存在し、未分化型をA型、分化型をB型と分類される。B型では一定回数の分裂ののち減数分裂に移行する。精母細胞：減数分裂を行う細胞で、第一減数分裂を行う細胞が第一精母細胞、第二減数分裂を行う細胞を第二精母細胞と呼ばれる。精細胞：減数分裂後の細胞を指す。精子：精細胞から精子変態を経て、核が凝集し、運動するための鞭毛を有する。

- (3) この問題ではDNA配列の特徴について説明できることが求められる。

DNA配列中にシトシンとグアニンが隣接し、CGの配列が高頻度で現れる領域のこと。遺伝子のプロモーター領域付近に見られ、遺伝子の転写制御に関係する。

- (4) この問題では本文を正しく理解し、読み解ける能力が求められる。

発生に関与する遺伝子のCpGアイランド内のH3K4me2が減少する

- (5) この問題では一般的なエピジェネティクスの論文を読み解く能力が求められる。

ヒストンH3のN末端の4番目のリジン残基が2つメチル化された状態

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かな読み取り、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、当分野に関連する配偶子形成とエピジェネティクス（出題番号 251）、および初期胚発生（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、特徴的な DNA 配列である反復配列について正しい知識を有することが求められる。

マイクロサテライト。2～5塩基対程度をモチーフとした縦列反復配列、ミニサテライト、5～数十塩基対程度をモチーフとした縦列反復配列、など。

- (2) この問題では、特徴的な DNA 配列である反復配列について正しい知識を有することが求められる。

セントロメア領域。紡錘糸が結合する染色体の構造体であるキネトコア(動原体)が形成される領域。(その他：テロメア領域、リボソーム RNA 遺伝子領域など)

- (3) この問題では、本文を正しく理解し、遺伝学の基礎的な知識を用いて論理的に記述できる能力が求められる。

多くの反復配列は遺伝子をコードしないイントロン領域に存在しているため、遺伝子のアミノ酸配列に変更を与えず、遺伝子機能に影響しないため、など。

- (4) この問題では、本文を正しく理解し、遺伝学の基礎的な知識を用いて論理的に記述できる能力が求められる。

反復配列が転移因子によってコーディング領域に挿入されると形成される遺伝子のアミノ酸配列に変異が入り機能欠損が生じる。また、転写調節領域やイントロンに挿入されると、エピジェネティックな制御(例えば、メチル化やヒストン修飾)に影響を及ぼし、遺伝子発現が異常になりうる。さらに、反復配列は非翻訳領域にあることが多いが、非コード領域の反復配列も non-canonical なメカニズムで翻訳されることがあり、異常なペプチドやタンパク質が産生され、疾患などの発症に関与する可能性がある、など。

出題番号 262

【解答例】

本問題は、遺伝子発現制御の分子機構について、受験者がどの程度深く理解しているかを問うことを目的としている。特に、クロマチン構造変化が遺伝子発現に与える影響や、それらが転写活性化や抑制に具体的にどのように関与するかについて、論理的かつ体系的に説明する力を評価する。また、分子生物学的手法の知識を基に、仮説を立て、それに基づいた実験計画を構築・考察する能力も重視している。さらに、エピジェネティクスといった先端的な分野に関連する知識を応用し、自らの言葉で説明できる表現力を問うものである。単に基礎知識を暗記しているだけでなく、それを応用して考察し、未知の事象に対して論理的に対応する力を測ることを目的としている。

- (1) ヒストンの N 末端テイル部分

- (2) ヒストンは DNA に巻き付いてクロマチン構造を形成し、遺伝子の転写を物理的に抑制する役割を持つ。ヒストンのリジン残基がアセチル化されると、ヒストンの正電荷が中和され、DNA との結合が弱まる。その結果、クロマチン構造がほどけ、転写因子や RNA ポリメラーゼが DNA にアクセスしやすくなり、転写が活性化される。

(3) 以下のような実験的アプローチが考えられる：

遺伝子配列情報を基に、哺乳類細胞や大腸菌、昆虫細胞などで発現系を構築する。精製した組換えタンパク質を用い、ヒストンに対するメチル基転移活性を *in vitro* アッセイで確認する。これにより、そのタンパク質がメチル基転移酵素であることを機能的に証明する。

(4) ヒストンメチル化の理解が遅れた理由は、本文中で「bulk histone methylation is not correlated with transcriptional activation」とあるように、全体としてのメチル化のレベルと転写活性の間に明確な相関が見られなかったからである。この違いの背景にはヒストンのアセチル化は、転写活性化との明確な関係が見出されたのに対し、メチル化は修飾されるリジン残基の位置によって、転写活性化に関与する場合と転写抑制に関与する場合があります、機能が相反することから、単純なモデルで説明することが難しく、理解の進展が遅れたと考えられる。また、同じリジン残基でも、メチル基が1個、2個、3と異なる修飾状態を取り、メチル基の数によっても結合するタンパク質や転写への影響が異なる。

【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の的確に読み取り、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、当分野に関連するゲノム DNA の特徴的な配列（出題番号 261）、およびエピジェネティクス（出題番号 262）を中心とした問題を出題した。