

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

【出題の意図】

世界の海藻産業を支える海藻由来のコロイド成分（フィココロイド）について、その原藻となる種類、生体内での合成場所やその分布、生理生態学的機能について理解しているか問う問題である（出題番号 241）。また、フィココロイドを生産する紅藻の生活史を正確に説明できるか、その増養殖の基礎となる知識を身に付けているかも問うている（出題番号 241）。出題番号 242 では、環境と藻場を構成する海藻との相互関係について、現在までに知られている現象への理解度を問う問題であり、今後の社会や環境問題に対応できる基礎的な素養があるかを確認したい。

出題番号 241

【解答例】

（１）カラゲナン原藻としてキリンサイなどが挙げられる。その生活史は、雌雄の配偶体（単相）、果孢子体（複相）及び四分孢子体（複相）の三相の世代で構成される。雌性及び雄性配偶体が成熟すると、それぞれ造果器と精子器と呼ばれる生殖器官を形成する。精子器で作られた不動精子は、造果器と受精し、雌性配偶体上に果孢子体が形成される。果孢子体は果胞子を放出し、果胞子は基質への付着を経て四分孢子体に成長する。その後、四分孢子体は成熟し四分孢子嚢を形成し、四分胞子を放出する。四分胞子は、着底を経て雌性または雄性配偶体となる。

（２）①アポプラスト。アポプラストは細胞壁と細胞間隙の細胞外領域であり、その主な領域の細胞壁という解答も可とする。②ゴルジ体。紅藻のフィココロイドである寒天やカラゲナンが紅藻細胞内小器官のゴルジ体が深く関与している

（３）紅藻のフィココロイドはアポプラスト（細胞壁や細胞間隙）に分泌・蓄積され、細胞壁構成要素として体を支え、環境ストレスに対する保護やイオン平衡の維持などの機能を有している。

（４）大型褐藻類の代表的なフィココロイドであるアルギン酸は、海水中の金属等を吸着する能力を有し、細胞内に取り込まれない排除機構を有している、など。

出題番号 242

【解答例】

（１）化石燃料の燃焼等の人間活動により大気中のCO₂濃度が増加し、それに伴い大気中のCO₂が海洋に溶解込み、炭酸水素イオン濃度と水素イオン濃度が上昇してpHが低下する現象が酸性化である。pHの低下は、同時に海水中の炭酸イオン濃度の低下を招き、炭酸イオンを利用して炭酸カルシウムを沈着する海藻群、特に石灰藻と呼ばれる群では、石灰化が妨げられ成長を阻害する、など。

（２）石灰藻から放出されるウニ変態誘引物質によってウニの着底が早まる。またウニは石灰藻を覆うような大型の海藻を捕食、石灰藻の繁殖の制限要因となる光環境を改善する、など。

（３）エルニーニョ現象は、貿易風の勢力が弱まり、暖かい海水が赤道域太平洋東岸に留まり、例年より高い海水温が1年以上続く現象である。その為、太平洋南米沖では海水の湧昇の勢いが弱く、海洋深層から運ばれる栄養塩の供給が滞るため、そこに生育するジャイアントケルプの生産が制限

されることになる。

（４）多様な藻場の機能について、その物理及び化学環境への貢献を問うものである。具体的には、富栄養化の防止、透明度の増加と懸濁防止、生物の生存に不可欠な酸素の供給等水質浄化、炭素固定、沿岸域の栄養塩類の保持などが挙げられよう。

出題内容：水族発生生物学

【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、当分野に関連する配偶子形成と研究手法（出題番号 251）、および生殖幹細胞と研究手法（出題番号 252）を中心とした問題を出題した。

出題番号 251

【解答例】

(1) 精原幹細胞は、動物の一生を通じて精子産生を維持する細胞である。自己複製によって幹細胞集団を保ちながら、一部の細胞が分化して精子形成過程に進むことで、継続的な精子供給を支えている。

(2) 形態学的研究では、精巣内の細胞の形、大きさ、配置、分化段階などから、精子形成過程を理解することができる。一方、single-cell RNA sequencing では、個々の細胞ごとの遺伝子発現情報を取得し、精巣内に存在する細胞種の同定や、細胞ごとの転写状態の違いを解析できる。

すなわち、single-cell RNA sequencing を用いると、各細胞の遺伝子発現状態を解析できるため、加齢に伴う転写状態の変化や細胞種の違いを明らかにできる。

(3) developmental atlas とは、加齢したゼブラフィッシュ精巣に存在する細胞種や、それぞれの細胞の発生・分化状態、遺伝子発現状態を体系的に整理した地図のような情報基盤である。本研究では、精巣の加齢に伴う細胞構成や分子状態の変化を明らかにするために作成された。

(4) まず、若齢から高齢まで複数の年齢段階で精巣を採取し、精子形成低下と免疫細胞増加のどちらが先に起こるかを時系列で解析する。免疫細胞増加が精子形成低下より前に生じるなら、その増加が原因である可能性が高まる。

次に、抗炎症処理やマクロファージ除去処理を行い、免疫細胞の増加を抑制した場合に精子形成が改善するかを調べる。逆に、炎症を誘導した若齢精巣で精子形成が低下するかを調べることで、因果関係を検証できる。

出題番号 252

【解答例】

(1) ほ乳類では、BMP シグナルなどの細胞間シグナルによって体細胞から始原生殖細胞が誘導される epigenesis により生殖細胞が形成される。一方、多くの魚類では、卵にあらかじめ存在する生殖質を受け継いだ細胞のみが始原生殖細胞となる preformation により形成される。

(2) PGCs は生殖腺へ移動・定着した後、体細胞からのシグナルの影響を受けて、メスでは卵原細胞、オスでは精原細胞へ分化する。両者ともシストを形成して有糸分裂（シスト分裂）により増殖するが、メスでは比較的早期に減数分裂を開始して卵母細胞となる。一方、オスでは精原幹細胞として自己複製を続け、性成熟に伴って、精原細胞が減数分裂を開始して精子形成へ進む。

(3) PGC と精原幹細胞 (SSC) をそれぞれセルソーター等で単離し、RNA-seq または single-cell RNA-seq を行って遺伝子発現を比較する。さらに、発現差が認められた候補遺伝子についてノックアウトや過剰発現を行い、生殖細胞の分化や移植後の挙動を解析する。これにより、PGC と SSC の分子的な共通点と相違点を明らかにできる。

(4) 成体雄ニジマスの精巣から精原幹細胞を含む生殖細胞を単離し、孵化直後の雌雄の宿主胚の腹腔内へ移植した。その後、ドナー細胞が宿主の生殖腺へ移動・定着し、配偶子形成を行うかを解析した。

Developmental plasticity は、成体精巣由来細胞が胚の未分化な生殖腺環境に適応し、再び配偶子形成を開始して機能的な配偶子を形成し、正常な子孫を残したことから示された。

Sexual bipotency は、同じ雄由来の精巣細胞が、雄宿主では精子に、雌宿主では卵へ分化したことから示された。

出題内容：水族遺伝育種学

【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、当分野に関連する倍数体（出題番号 261）、および遺伝解析技術（出題番号 262）を中心とした問題を出題した。

出題番号 261

【解答例】

(1) 日本語訳「細胞内に存在する染色体セットの数によって倍数性が定義され、二組を超える染色体セットをもつ状態を倍数体という」

通常の二倍体は相同染色体を二組持つのに対し、三倍体、四倍体などは三組以上の染色体セットを持つ。

(2) 二倍体細胞の G2 期にある 4C 細胞では、DNA 複製によって DNA 量が一時的に増加しているが、染色体セット数は二組のままである。一方、4C の状態で細胞周期が G1 期にリセットされた細胞は、4C を基本状態として次の細胞周期を開始するため、四倍体細胞とみなされる。したがって、同じ 4C でも細胞周期上の位置によって倍数性の解釈が異なる。

(3) 細胞核を DNA 量に比例して結合する蛍光色素で染色し、フローサイトメーターを用いて細胞ごとの蛍光強度を測定する。蛍光強度は細胞当たりの DNA 量にほぼ比例するため、既知の DNA 量をもつ対照細胞と比較することで、試料細胞の C 値を推定できる。

(4) フローサイトメトリーでは、多数の細胞について DNA 量の分布を短時間で定量でき、2C、4C、8C などの細胞集団を検出できる。一方、顕微鏡解析では、染色体数、核の形態、染色体の配置、組織内での倍数体細胞の位置などを観察できる。両者を組み合わせることで、DNA 量の増加が実際の染色体セット数の増加によるものかを検証できる。

(5) Autopolyploidy は、同一種内の配偶子の融合や同一種由来ゲノムの重複によって形成される倍数性である。Allopolyploidy は、異なる種に由来する配偶子が融合し、複数種のゲノムを併せもつ倍数性である。したがって、前者では同種由来のゲノムセットが増加し、後者では異なる種由来のゲノムセットが共存する。

(6) 両親および四倍体子孫について、種特異的 SNP、マイクロサテライト、ミトコンドリア DNA などを解析する。同一種由来の対立遺伝子のみをもつ場合は autopolyploid の可能性が高い。異なる種に特異的な遺伝子型を両方もつ場合は allopolyploid と考えられる。さらに、ゲノミック in situ ハイブリダイゼーションや種特異的 FISH を用いれば、異なる種に由来する染色体セットを細胞内で識別できる。

出題番号 262

【解答例】

(1) 多くの表現型は、特定の細胞型の働きと細胞間相互作用によって生じる。しかし、従来の bulk

解析では、すべての細胞にわたる平均的な情報しか得られず、各細胞の寄与を区別することができない。一方、single cell 解析では、個々の細胞の分子プロファイルを信頼性高く解析できるため、細胞型の同定やその不均一性、環境変化に対する細胞特異的な遺伝子発現応答を明らかにでき、形質発現の分子機構をより深く理解できる。

(2) 病害抵抗性を例にすると、single cell 解析によって、病原体感染時に応答する免疫関連細胞やその他の細胞型を個別に同定できる。また、同じ細胞型であっても細胞ごとに異なる遺伝子発現応答（細胞間の不均一性）を解析できる。さらに、細胞間相互作用を解析することで、感染防御に重要なシグナル伝達経路や細胞間ネットワークを明らかにできる。その結果、病害抵抗性の分子機構の理解が進み、耐病性育種や疾病対策に有用な標的遺伝子・細胞の探索につながる。

(3) Multi-omic profiles とは、同一の細胞から得られた複数種類のオミクス情報を統合したデータである。具体的には、トランスクリプトーム（遺伝子発現）、エピゲノム（DNA メチル化やクロマチンアクセシビリティ）、プロテオーム（タンパク質発現）などの情報を同時に取得し、総合的に解析する。単一のオミクス解析では、細胞の状態や機能を一側面からしか評価できないが、複数の分子情報を統合することで、遺伝子発現がどのようなエピジェネティック制御を受け、最終的に細胞機能や表現型の形成につながるのかを多面的に理解することが可能となる。これにより、生命現象の分子機構をより包括的に解明できる。