

【正解又は解答例】

令和8年度 愛媛大学大学院農学研究科入学者選抜学力検査

(生物環境学専攻 環境保全学コース)

専門科目	水族繁殖生理学
------	---------

第 1 頁 (6 頁の内)

問 1.

1)	<p>GnRH:</p> <p>脳の視床下部 (hypothalamus) から分泌されるペプチドホルモンで、下垂体前葉に作用して生殖腺刺激ホルモン (gonadotropins; GTH) である FSH (卵胞刺激ホルモン) および LH (黄体形成ホルモン) の分泌を促進する。</p>
2)	<p>11-ketotestosterone</p> <p>魚類の雄性ホルモンとして作用するステロイドホルモン。精巣間質中のライディッヒ細胞で産生される。硬骨魚類では、オスの第2次性徴の発現、精子形成の開始等に作用する。</p>
3)	<p>Estradiol-17β</p> <p>脊椎動物の主要な雌性ホルモン。卵濾胞層の莢膜細胞層に存在するストロイド産生細胞で産生される。雌では肝臓に作用して卵黄タンパク前駆体であるビテロジェニンの合成、卵原細胞の増殖、雄では精原幹細胞の増殖制御に作用する。</p>
4)	<p>生殖腺刺激ホルモン (Gonadotropins)</p> <p>脳下垂体前葉で産生されるタンパク性ホルモン、濾胞刺激ホルモン (FSH) および黄体形成ホルモン (LH) の2種類が存在する。いずれのホルモンもαおよびβサブユニットからなる2量体であり、αサブユニットはLHおよびFSH共通である。いずれもステロイド産生細胞を刺激し、ストロイドホルモンの産生を誘導する作用を有する。基本的には、成熟初期にFSHが産生され、後期にLHが一過的に産生される。</p>
5)	<p>17α20β-Dihydroxy-4-pregnen-3-one</p> <p>魚類の主要な黄体ホルモン。減数分裂開始期および最終成熟期に重要な役割を担う。雌では、減数第一分裂の再開誘導、雄では減数第一分裂の開始および精子成熟過程に作用する。</p>

【正解又は解答例】

令和8年度 愛媛大学大学院農学研究科入学者選抜学力検査

(生物環境学専攻 環境保全学コース)

専門科目	水族繁殖生理学
------	---------

第 2 頁 (6 頁の内)

問 2.

魚類の卵黄形成（ビテロジェネシス）および卵成熟の過程は、視床下部一下垂体一性腺軸（HPG 軸）を中心とした精緻な内分泌制御機構によって調節されている。これらのプロセスは、繁殖行動や産卵のタイミングを適切に制御するために、環境因子（光周期、水温など）とも密接に連携しており、魚類における生殖の成功に不可欠な役割を果たしている。

まず、繁殖期の到来に伴い、視床下部から生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（GnRH）が分泌され、これが下垂体前葉に作用して生殖腺刺激ホルモン（GtH）である卵胞刺激ホルモン様ホルモン（FSH）および黄体形成ホルモン様ホルモン（LH）の分泌を促す。FSH は卵巣内の顆粒層細胞に作用し、雌性ホルモンの一種であるエストラジオール- 17β （E2）の産生を誘導する。E2 は血流を通じて肝臓に作用し、卵黄前駆体タンパク質であるビテロジェニン（VTG）の合成を促進する。VTG は血中に放出された後、卵巣へと運ばれて卵母細胞に取り込まれ、卵黄タンパク質として蓄積される。これがビテロジェネシス（卵黄形成）の過程であり、卵母細胞のサイズ拡大とともに卵胞の成長が進行する。

卵黄の蓄積が完了すると、卵は最終成熟期に移行する。この段階では LH の分泌が増加し、それに応じて卵巣の莢膜細胞がステロイドホルモンである $17\alpha, 20\beta$ -ジヒドロキシプロゲステロン（ $17\alpha, 20\beta$ -DHP）を産生する。このホルモンは、魚類における最終卵成熟誘導ホルモン（MIH: Maturation Inducing Hormone）として作用し、卵母細胞内での減数分裂の再開、すなわち胚核の崩壊（GVBD: Germinal Vesicle Breakdown）や細胞周期の再活性化を引き起こす。

この細胞周期の再開には、MPF（Maturation-Promoting Factor）の活性化が不可欠である。MPF は、細胞周期の G2 期から M 期への移行を制御するタンパク質複合体であり、サイクリン B と Cdc2（または Cdk1）という 2 つのサブユニットから構成される。未成熟な卵母細胞では、MPF は不活性型として存在しているが、 $17\alpha, 20\beta$ -DHP の作用によってサイクリン B の合成および Cdc2 の脱リン酸化が誘導され、活性型 MPF が形成される。活性化された MPF は、核膜崩壊、染色体凝縮、紡錘体形成といった一連の成熟過程を引き起こし、GVBD を実現する。このプロセスによって卵は受精可能な状態へと成熟する。

【正解又は解答例】

令和8年度 愛媛大学大学院農学研究科入学者選抜学力検査

(生物環境学専攻 環境保全学コース)

専門科目	水族繁殖生理学
------	---------

第 3 頁 (6 頁の内)

問 3.

魚類の精子形成は、視床下部－下垂体－性腺（HPG）軸によって制御される内分泌システムに強く依存しており、精巣内での精原細胞から精子への分化過程は、主に生殖腺刺激ホルモンと雄性ホルモンによって調節されている。まず、視床下部から分泌される生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（GnRH）は、下垂体前葉を刺激し、FSH と LH という 2 種類の生殖腺刺激ホルモンの分泌を促進する。

FSH は精巣内のセルトリ細胞やライディッヒ細胞に作用し、雄性ホルモンである 11-ケトテストステロン（11-KT）の合成を誘導する。11-KT は、多くの硬骨魚類で主要な雄性ホルモンとして知られ、精原細胞の増殖や減数分裂の開始を促進し、精母細胞や精子細胞への分化を誘導する。セルトリ細胞は精巣内で精子形成を直接的に支える支持細胞であり、11-KT の刺激によってさまざまな成長因子を産生分泌し、精子形成を進行させる。減数分裂の開始に関しては、黄体ホルモンである $17\alpha,20\beta$ -ジヒドロキシ-4-プレグネン-3-オン（DHP）がトリプシンをはじめとする様々な因子と共に関与することが知られている。

一方、FSH は主に性成熟段階で重要な役割を果たし、11-KT の持続的な産生を促進することで、精子の最終成熟や精巣輸精管への移動、放出を制御する。また、

DHP は最終的な精子の運動能獲得や放出に関与することが示されており、卵成熟同様に、精子成熟にもステロイドホルモンが密接に関与している。

さらに、精子形成は精巣内の局所的な因子によっても細かく調節されている。インスリン様成長因子（IGF）、アクチビンなどの成長因子類は、セルトリ細胞や精原細胞の増殖・分化を制御する。これらの分子は、ホルモン刺激によってその発現量が変化し、内分泌とパラクライン機構の両方が複雑に絡み合うことで精子形成が精緻に制御されている。

ドーパミン（DA）は、GnRH による GTH 分泌を抑制する神経内分泌因子として知られており、繁殖期には DA の抑制が緩和されることで GnRH-GTH-11KT 系が活性化する。この制御機構は、種ごとに異なる季節性や繁殖周期に適応した形で働いている。

【正解又は解答例】

令和8年度 愛媛大学大学院農学研究科入学者選抜学力検査

(生物環境学専攻 環境保全学コース)

専門科目	水族繁殖生理学
------	---------

第 4 頁 (6 頁の内)

問 4.

イエローミールワーム (*Tenebrio molitor*) はコウチュウ目ゴミムシダマシ科に属する昆虫で、完全変態を行うことが特徴である。その生活史は、卵、幼虫、蛹、成虫の4つの発育段階から構成される。まず成虫のメスは、ふすまやおがくずなどの乾燥した基質に1個あたり約1.5~1.7mmの卵を1日に数個ずつ、最終的には一生で300~500個程度産卵する。卵は通常4~14日で孵化し、小さな幼虫が誕生する。

幼虫期は最も長く、温度や栄養条件にもよるが、一般的には約2~3か月間続く。この間、幼虫は8~20回程度の脱皮を繰り返しながら成長し、最終的には30mm程度の体長に達する。体形は細長く円筒状で、色は淡黄褐色を呈する。幼虫は雑食性であり、ふすま、小麦粉、野菜くず、果物片などさまざまな有機物を摂食する。高タンパク質な餌を与えることで、成長速度や体サイズを向上させることができる。また、成長末期の幼虫は摂食を停止し、蛹になる準備に入る。

蛹期は5~14日程度で、変態に必要なエネルギーを体内に蓄えた幼虫が不活発な状態で羽化を待つ。蛹は白っぽいC字型で、体外から羽や脚の原基が確認できる。この段階では移動能力を失い、外敵に対して無防備となるが、成虫への移行に重要な期間である。

羽化した成虫は体長12~18mmの黒褐色で、硬い外骨格を持つ。羽化後数日で交尾が可能となり、交尾後は再び産卵を開始する。成虫はおおよそ2~3か月の寿命を持ち、この間に次世代の産卵を行う。成虫には羽があるが飛翔能力はほとんどなく、主に歩行によって移動する。暗所を好み、乾燥した環境で活動するのが一般的である。

イエローミールワームのライフサイクル全体は、最適条件(25~30℃)下ではおおよそ3~4か月で完了するが、低温や栄養不良下では半年以上かかることもある。このように発育速度は環境要因に大きく依存する。

本種は乾燥や低温への耐性が高く、飼育が容易なことから、釣り餌やペット飼料、実験材料などとして古くから利用されてきた。近年では、幼虫に豊富に含まれるタンパク質や脂質、さらには免疫賦活作用が期待されるキチン・抗菌ペプチドなどの機能性成分が注目され、養殖魚用の代替飼料としての利用研究が進められている。特に昆虫由来飼料の普及に向けて、安定した供給と高い栄養価を兼ね備えたイエローミールワームは、今後の持続可能な水産養殖における有望な資源とされている。

【正解又は解答例】

令和8年度 愛媛大学大学院農学研究科入学者選抜学力検査

(生物環境学専攻 環境保全学コース)

専門科目	水族繁殖生理学
------	---------

第 5 頁 (6 頁の内)

問5.

イエローミールワーム (*Tenebrio molitor*) は高タンパク質・高脂質で、栄養価に優れた昆虫として注目されており、近年では食用や水産・畜産飼料としての利用が検討されている。しかし、実際の利用にあたってはいくつかの問題点が存在する。

安全性の確保が大前提となる。ミールワームは雑食性であり、穀類のふすまや野菜くずなどさまざまな餌を摂取するが、餌の品質が悪ければ重金属や農薬、病原微生物などの有害物質が体内に蓄積するリスクがある。また、昆虫の体内や表面には細菌類や真菌類が共存しており、適切な処理を行わないと食中毒や感染症の原因となる可能性もある。そのため、飼育段階から衛生的な環境を維持し、加工段階では加熱処理や乾燥、殺菌工程などを適切に設ける必要がある。

アレルギーの問題も無視できない。ミールワームにはキチンやトロポミオシンなど、甲殻類と共通するアレルゲンが含まれており、エビやカニに対する食物アレルギーを持つ人が摂取した場合、アレルギー反応を引き起こす可能性がある。

法制度の整備も重要な課題である。日本を含む多くの国では、昆虫の食品・飼料としての利用に関する基準が発展途上であり、新たな食品として承認を得るには多くの書類作成と安全性試験が必要となる。たとえば、EUでは「ノベルフード」としての審査が義務付けられており、日本においても昆虫由来飼料の利用には農林水産省の認可が必要となる。

生産面においてはコストや拡張性の課題もある。ミールワームは他の昆虫に比べて飼育管理が容易ではあるものの、商業規模での大量生産には飼育設備の自動化、温度管理、餌供給の最適化などが求められる。これには初期投資が必要であり、コスト競争力のある価格で安定供給を続けるには、技術革新と効率化が不可欠である。

社会的受容という側面も重要である。昆虫食に対する心理的な抵抗感は根強く、特に欧米や日本の消費者の多くは、昆虫を直接食べることに抵抗を示す傾向がある。このため、見た目や食感を工夫した加工食品の開発や、機能性成分に着目したサプリメント化など、受容性を高める製品設計が重要となる。また、持続可能性や栄養価の高さといった利点を消費者に適切に伝える教育活動も必要である。

以上のように、イエローミールワームの食用・飼料利用には、安全性、法規制、生産体制、社会的受容といった多面的な課題が存在するが、それらを解決することで、持続可能なタンパク源としての可能性が大きく広がると期待されている。

【正解又は解答例】

令和8年度 愛媛大学大学院農学研究科入学者選抜学力検査

(生物環境学専攻 環境保全学コース)

専門科目	水族繁殖生理学
------	---------

第 6 頁 (6 頁の内)

問6.

昆虫の食利用および飼料利用は、世界的な人口増加と地球環境問題を背景に、持続可能なタンパク源として注目を集めている。特に食用昆虫は、家畜に比べて飼育に必要な飼料や水の量が少なく、温室効果ガスの排出量も低いため、環境負荷の少ないタンパク源とされる。また、昆虫は高タンパク質・高脂質・ビタミン・ミネラルに富み、栄養価の面でも非常に優れている。

食用としては、東南アジアやアフリカなど多くの国で古くから昆虫が日常的に食べられており、地域の食文化の一部となっている。近年は欧米や日本でも、健康食品や非常食、スナック菓子、パウダー状の加工品としての流通が広がっている。中でもコオロギやミールワームは味や飼育のしやすさから特に注目されており、食品業界やスタートアップ企業がさまざまな製品開発を進めている。

一方、飼料利用においては、昆虫は魚粉や大豆ミールなどの代替資源として期待されている。特に水産養殖や家畜飼育におけるタンパク源として、コオロギ、ミールワーム、ブラックソルジャーフライなどが研究・実用化されている。昆虫由来飼料は高い消化性を持ち、魚類や家禽の成長促進、免疫賦活、肉質改善といった効果も報告されている。また、食品廃棄物や農業残渣を昆虫の餌とすることで、資源循環型の畜産・養殖システムの構築も可能となる。

しかしながら、昆虫の利用にはいくつかの課題も存在する。第一に、安全性の担保が必要であり、飼育環境や餌の衛生管理、加工段階での殺菌処理などが求められる。第二に、法的な整備が進んでいない国も多く、食用あるいは飼料用としての使用には行政の承認が必要となる。第三に、消費者の心理的な抵抗感も依然として大きな障壁であり、製品開発や情報発信の工夫が不可欠である。

今後は、栄養評価や機能性研究、リスク評価を通じて科学的根拠を積み重ねつつ、規制整備とともに市場基盤を整える必要がある。加えて、食料生産の多様化と資源循環を視野に入れた包括的な取り組みを行うことで、昆虫は将来の食料・飼料問題を解決する鍵となる可能性を持っている。