

植物環境工学

[解答例]

植物環境工学 1/1

問1. 光合成について下記の問いに答えなさい。

- 1) 葉の CO_2 拡散モデルについて説明しなさい。
- 2) 温度と CO_2 交換速度の関係について説明しなさい。図を用いてもよい。

1) 葉の CO_2 拡散モデルは、大気から葉内への CO_2 の「拡散」と、 CO_2 移動経路上にある「抵抗」で構成される。大気から葉内への主な抵抗は、大気→気孔：葉面境界層抵抗、気孔→葉内部：気孔抵抗、葉内部→葉肉細胞：細胞間隙（拡散）抵抗である。このモデルは植物の成長促進や植物工場や温室での環境制御に利用される。

- 2) 葉温と総光合成速度の関係は、ベル型曲線（逆U字型）になる。
低温域（10～15℃）酵素活性が低いため光合成速度が低い。
中温域（20～30℃前後）酵素活性が最適、光合成速度が最大。
高温域（35℃超）酵素失活や光呼吸増大、気孔閉鎖により光合成速度が低下。

他方、呼吸速度は葉温が上がるにつれ増加する。総光合成速度から暗呼吸速度を差し引いた値が純光合成速度である。

問2. 夏季の温室の高温抑制に有効な環境制御技術を3つ挙げ、それぞれについて、具体的に説明しなさい。

遮光：温室内または外に展張したカーテン資材により、温室内に入る光（熱）エネルギーを減少させる。一般的な遮光資材では、赤外線とともに光合成有効放射も減少させる。

換気：自然換気や強制換気により、外気より気温の高い温室内の空気を排出し、外気を取り込むことで、温室内気温を下げる方法。

冷房：気化冷却①細霧冷房：細霧を温室内に噴霧し、気化した水蒸気を自然換気または強制換気で温室外に排出する気化冷却法の1つ。飽差が小さい場合は効果が低く、温室内の相対湿度を過度に高めやすい。温室全体に細霧を噴霧することで、温室内全体で均一に気温を低下させられる。

冷房：気化冷却②パッド&ファン：温室の片側面にあるパッドに水を流し、反対側の面に設置したファン（換気扇）で空気を強制的に排出することで、水を気化させる気化冷却法の1つ。飽差が小さい場合は効果が低く、温室内の相対湿度を過度に高めることがある。パッドに近い側は気温が下がりやすいが、低下した空気が温室内を移動する間に気温上昇するため、温室内での温度差が生じやすい。

冷房：ヒートポンプ（HP）：HP で温室外部と内部で熱交換することで、温室内の気温を低下させる方法。日中に用いるには複数台の HP が必要であり、遮光と組み合わせることや、夜間に利用するのが一般的。冷房と共に除湿も行われる。

問 3．植物工場の環境制御の特徴について、温室との比較で説明しなさい。

気温や日射量がある程度制御できるものの、気象条件に左右される温室に比べ、植物工場では、光、温度、湿度、CO₂濃度を高精度に制御できる。また、植物工場では、温室では実現できない環境（例えば明暗周期、ガス組成、UV 付与やオゾン付与など）を植物に付与できる。よって、植物工場では温室よりも植物の成長速度が制御でき、周年安定生産や高付加価値植物の生産が可能である。

問 4．以下の事項から 2 つを選んで、それぞれについて、100 字以内で説明しなさい。

1) 葉面積指数 (LAI)

栽培面 1 m²あたりの葉の総面積のこと。葉の重なりが多いほど値が大となる。摘葉や整枝により、LAI を適値に制御することで群落光合成速度を高められる。温室でのトマト群落での適値は 2～4 とされる。

2) エンタルピー

湿り空気中の顕熱と潜熱を合わせた全熱量のこと。温室や植物工場の空調や換気の設計や制御に必要な熱負荷計算に使われる。

3) 葉面境界層抵抗

ガス分子 (CO₂や水蒸気) の移動に対して、葉の表面近くに形成される薄い空気層による抵抗。風速が低いほど葉面境界層が厚くなり、気体の移動抵抗が大きくなることで、光合成速度、蒸散速度を抑制する。

4) 飽差

同一温度下での飽和水蒸気圧と湿り空気の水蒸気圧との差。飽差が大きいほど蒸散が促進されるが、過度に大きな飽差は、気孔閉鎖による光合成、蒸散速度の低下につながる。

[主題意図]

植物環境工学および関連分野の学識を修得しているか、また、国際的にも通用する応用力を身に付けた高度専門職業人や研究者を目指す人物であることを問うた。

農産食品工学

解答例：

問 1.

(1) $MCdb = MCwb / (1 - MCwb)$

$MCwb: (120.0 - 6) / 120.0 \times 100 = 95 \text{ (\%w. b.)}$

$MCdb: (120.0 - 6) / 6 \times 100 = 1900 \text{ (\%d. b.)}$

(2)

1. $20000 - 15000 - 500 = 4,500 \text{ (kg)}$

2. $4,500 / 3 = 1,500 \text{ (kg/month)}$

問 2.

1) コールドチェーン (cold chain)

温度管理が必要な製品の生産から消費者に届くまでの間を低温に保ったまま流通させる仕組みのこと。低温物流もしくは低温ロジスティクスともいう。

2) モーダルシフト (modal shift)

トラックなどによる貨物輸送を、環境負荷の小さい鉄道や船舶などに切り替えること。

3) 逆カルノーサイクル (reversed Carnot cycle)

仕事を与えて低温部から高温部に熱を移動させるサイクル。ヒートポンプ (暖房) や冷凍機 (冷房) の動作原理となっている。熱を移動させるためには外部からの仕事が必要である。

4) テクスチャー (texture)

食品のかたさ、やわらかさ、きめ細かさ、舌触り、などの食感を意味する用語。

5) 電気インピーダンス (electrical impedance)

交流回路での電流の流れにくさ、交流抵抗。

6) 相対湿度 (relative humidity)

ある温度の空気中に含まれる水蒸気量が、その温度で飽和状態になるために必要な水蒸気量に対する百分率。

7) 絶対温度 (absolute temperature)

物質を構成する原子の熱運動が完全に停止する温度を 0K として、1 度の温度差が摂氏温度と等しくなるように定義された温度。

8) 加水分解 (hydrolysis)

水が関与して化合物を分解する化学反応。水分子が化合物の結合部分に作用し、結合を切断することでより小さな分子に分解される。

9) 自由水 (free water)

食品や物質の中を自由に移動できる水のこと。微生物や酵素が利用できる。

10) 予冷 (precooling)

収穫した農産物を、貯蔵前もしくは出荷前に事前に急冷して品温を下げる処理のこと。これにより熱負荷の少ない冷蔵操作に移行することができ、鮮度保持、品質保持の効率が向上する。

出題意図：

ポストハーベスト工学、食品工学分野で農産物を保蔵し品質を評価するために必要となる基礎的な考え方、専門用語の理解を問う。

生物環境氣象學

〔解答例〕

問 1. 以下の用語をそれぞれ 100 字以内で説明しなさい。

(1) スマート農業

→ (例) IoT 等の情報通信技術、AI、ロボット技術、各種センサー、ドローンなどを活用して、農作業の効率化、省力化、高精度化、さらには農作物の高品質化を実現する先進的な農業の形態。

(2) LiDAR

→ (例) レーザー光を対象物に照射し、反射光の時間を測定することで、物体の距離や形状を高精度に把握するリモートセンシング技術の一つである。Light Detection and Ranging の略語である。

(3) デジタルツイン

→ (例) 現実の世界から収集したさまざまなデータをもとに、仮想空間に現実世界とそっくりな世界を再現する技術。現実空間とそっくりな双子を仮想空間上に作り出すため、デジタルツインと呼ばれる。

問 2.

(1) 太陽の表面温度を T_s (K)、太陽の半径を R (km)、太陽と地球の距離を d (km)、地球のアルベドを α 、ステファン・ボルツマン定数を σ ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$)、放射率を ε とする。 T_s 、 R 、 d 、 α 、 σ 、 ε のうち必要な記号を用いて、地球の地表面 1 m^2 に入射する太陽放射 (= 太陽定数) を求めなさい。なお、太陽定数の単位は W m^{-2} で、太陽放射が地表面に到達するまでに、大気による吸収、散乱、反射はないとする。

→ 太陽定数 = $(\varepsilon \sigma T_s^4 R^2) / d^2$

(2) 太陽定数を I_0 (W m^{-2})、太陽高度を θ ($^\circ$) とする。太陽放射が地表面に到達するまでに、大気による吸収、散乱、反射がないとした時の日射量 (地表面に対して水平に置かれた面で観測される太陽放射の量) を、記号を用いて求めなさい。(10 点)

→ 日射量 = $I_0 \sin \theta$

問3. 図1に、地球（大気圏を含む）の放射収支と熱収支の概要を示す。大気上端および地表面のそれぞれでエネルギーの収支が成り立っており、大気を含む地球のアルベドが0.3の場合、図の中のaとbの数値を求めなさい。

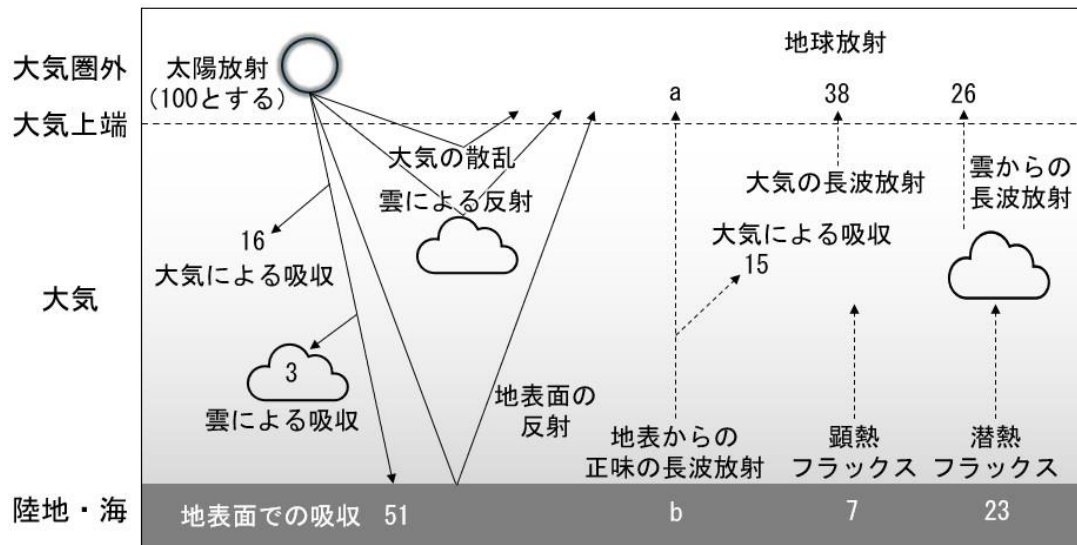


図1. 地球（大気圏を含む）の放射収支と熱収支の概要

→ a = 6, b = 21

問4. 山腹の中腹に帯状に現れる、周囲よりも気温の高い領域を斜面温暖帯という。筑波山は、斜面温暖帯を利用したあるものの栽培で有名である。そのあるものとは何か、また斜面温暖帯の発生メカニズムを説明しなさい。

→ (例) 筑波山は斜面温暖帯を利用したミカン栽培が有名である。斜面温暖帯は、風が静穏でよく晴れた条件下における深夜～早朝間に見ることができる。放射冷却によって斜面上で形成された冷たい空気は山麓へと流下する。不足した空気を補うように斜面上空の空気を引き込む下降流を引き起こす。この下降流は、断熱圧縮および気温の高い空気の鉛直移流を介して斜面上の気温を上昇させる方向に作用し、その結果、斜面温暖帯が形成される。

出題意図

生物環境気象学に関わる基本的な用語、理論、具体的な現象についての理解を確かめるために、丸暗記のような表面的な理解だけでなく、その場で思考して答えを導出するような問題も出題した。

植物病理学

植物病理学 解答例および出題意図

問1. 次の(1)～(6)から三題を選択して解答しなさい。

- (1) それまで有効であった植物病害防除法が、効果を失う事象がある。このような事象の具体例を一例挙げ、防除効果が失われるメカニズムやその対策とともに説明しなさい。

解答例1

- ・真性抵抗性を持つ品種が罹病化する例が挙げられる。一般的な真性抵抗性は、遺伝子対遺伝子説 (gene for gene theory) に則って、植物が持つ抵抗性遺伝子の発現産物と、病原菌が持つ非病原力遺伝子の発現産物との相互作用によって抵抗性/感受性が決定される。両者の組合せが適合した場合、前者によって後者が認識され、過敏反応を伴う強力な動的抵抗性が発動し、病害は抑制される。ところが、病原菌の非病原力遺伝子が喪失または変異した場合、このような抵抗反応は発現しなくなるため、真性抵抗性は打破されて植物は罹病化する。従って、真性抵抗性品種のみに頼るのではなく、圃場抵抗性 (耐病性) など活用する。

解答例2

- ・ベンゾイミダゾール系殺菌剤は、糸状菌の細胞骨格や紡錘糸を形成するチューブリンタンパク質に結合して糸状菌の生育を抑制する。また、ストロビルリン系殺菌剤は、糸状菌のミトコンドリアのチトクロム b に結合して糸状菌の呼吸を抑制する。ところが、これらのような殺菌剤の作用点となる糸状菌タンパク質の遺伝子に変異した場合、殺菌剤の結合性が失われて作用しなくなる。このようにして、特定の系統の殺菌剤が効かない殺菌剤耐性菌が発生する。耐性菌が発生しやすい殺菌剤は連用を避けると同時に、すでに耐性が認められる菌に対しては多作用点剤の利用や、殺菌剤以外の防除法の活用により防除を行う。

出題意図

- ・これまで効果のあった既存の防除法を克服してしまった病原体の発生は、植物生産においてしばしば大きな社会問題になる。そのような事象のいくつかについては、防除効果が失われたメカニズムがすでによく研究されており、対策についても検討され、その知見が活用されている。この出題では、そのような事例に対する知識や理解を問う。

- (2) 「コッホの原則」の内容と、植物病理学上の意義や活用方法について説明しなさい。

解答例

- ・コッホの原則は、植物に発生した障害 (病害) と特定の病原体との因果関係を証明する

ために用いられる概念である。本原則は、「①その障害（病害）が認められる植物の部位から特定の病原体が分離される、②分離した病原体を（培養して）植物に接種した場合に障害（病害）が再現される、③障害（病害）が再現された植物からその病原体が再分離される」の項目により構成され、この全ての項目が満たされた場合に、病原体がその障害を引き起こすことが立証されたと考えることができる。本原則に則った病原体の証明が行われていない場合、障害の原因を誤認している可能性も考えられ、障害（病害）への対策を誤る大きな原因ともなる。特に障害（病害）や病原体を初めて報告する場合には、本原則に則った慎重な検討や証明が必要である。

出題意図

- ・ コッホの原則は、病害の原因となる病原体を特定して因果関係を証明するために不可欠な概念である。かつて野口英世も、本原則でうたわれている条件を十分に満たさないまま病原体の報告を行ったために、後世において病原体の誤認を数多く指摘されることとなった。このような誤認は、疾病の治療や予防の失敗にもつながる。この出題では、コッホの原則に関する正しい知識と理解を問う。

（３）植物が生産する抗菌性化合物にはどのようなものがあるか。一例を挙げるとともに、その性質と植物病原菌におよぼす影響について説明しなさい。

解答例

- ・ 植物が生産する抗菌物質の例として、植物種が固有に持つ多様な配糖体（サポニンを含む）が挙げられる。バラ科が持つアミグダリンなどの青酸配糖体は、分解によりシアン化水素を生じて病原菌の呼吸を抑制する。また、トマトのトマチンやエンバクのアベナシンなどのサポニンは、糸状菌細胞膜のエルゴステロールに結合して膜の能動輸送性を破壊して強い抗菌性を発揮する。それに対して病原菌は、これらの配糖体を分解・解毒する酵素を生産する。例えばトマトのトマチンに対するトマチナーゼ、エンバクのアベナシンに対するアベナシナーゼが知られる。エンバク立枯病菌では、エンバクのアベナシンをアベナシナーゼにより分解できる系統だけがエンバクに病原性を示すことが示されており、アベナシンの存在が感染できる菌の種類を規定する例として知られる。

出題意図

- ・ 植物が生産する様々な二次代謝物の中には、様々な抗菌物質が含まれ、病害抵抗性に関与するものもある。それらの作用に関する知識と理解を問う。

（４）一般的な殺菌剤は病原菌を不活化したり病原菌の生育を抑制したりするが、それら以外の作用により植物病害を防除する化学物質にはどのようなものがあるか。一例を挙げるとともに、その作用を説明しなさい。

解答例

- ・ オリゼメートはイネいもち病などに防除効果のある殺菌剤であるが、その主成分であるプロベナゾールは、イネに全身的な抵抗性を誘導することが知られている。プロベナゾ

ールを処理したイネの植物体では、PR タンパク質などの抵抗性関連因子の遺伝子が一過的に発現し、その後は、病原体認識による動的抵抗性が敏感かつ速やかに誘導される状態（プライミング状態）が維持される。このような状態のイネに対していもち病菌などの病原菌が接触し、感染を試みると、過敏反応やファイトアレキシンの合成などの動的抵抗性反応が速やかに誘導され、菌の感染を阻止する。

出題意図

- ・近年では、農地周辺の生態系や環境、農業従事者に対する影響を考慮して、生物毒性が少ない防除剤の使用が求められている。その結果、殺菌剤やバイオスティミュラントとして用いられる化学物質の作用点は多様化し、必ずしも病原体に直接作用するものばかりではない。ここでは、そのような化学物質を用いた既存の病害防除法に対する知識と理解を問う。

(5) 近年では、植物工場などのように高度化栽培施設で農作物を生産することも多い。このような施設では、農作物の生育に適した環境条件となるよう高度に制御された養液栽培が行われる。このような栽培環境において、植物病害の発生リスクという観点から考えられる問題点を二例挙げて説明しなさい。

解答例

- ・太陽光利用型あるいは閉鎖型の植物工場のほか、精度の高い環境制御を行う技術的に高度な栽培施設では、NFT や DFT、あるいは噴霧耕などのような養液栽培を行うのが一般的である。養液栽培系では、病原菌に対して抑制的に作用する根圏の微生物相が土壌に比べて希薄であるため、ひとたび根に感染する病害が発生した場合には、養液による水媒伝染と相まって被害が激化しやすい。また、このような施設において植物の生育最適温度に近くなるように気温や養液温度を制御すると、それはまた病原菌の活動適温となる場合も多いため、年間を通じて病原菌の旺盛な活動を維持することにつながる。自然条件下では、冬の低温あるいは夏の高温は病原菌の生育に不適で、このような時期には病原菌の活動が減退する。しかし、高度化施設栽培では病原菌の活動適温が連続的に維持され、しかも年間の作付け回数が一般的に多いこともあり、被害が激化しやすい。

出題意図

- ・植物工場のような比較的新しい栽培環境においては、栽培上の利点だけでなく、植物病害発生の際においてはリスクを抱える場合もある。このような栽培環境の特徴を理解すると同時に、病原菌の生理や発生生態を理解し、そのような栽培環境でのリスクについて考察できるかを問う。

(6) 萎凋性の道管病を引き起こす植物病原菌を一例挙げ、その性質および伝染環や、感染、蔓延、病徴発現の様式について説明しなさい。

解答例

- ・半身萎凋病菌 *Verticillium dahliae* は、微小菌核と呼ばれる耐久体のかたちで土壤中に

耐久生存しており、その付近に植物根が伸長してくるとこれが発芽し、根の皮層を破って組織内に侵入する。その後、菌糸が主に細胞間隙を進むことで維管束に到り、道管内に侵入して増殖する。増殖した菌体や植物に誘導されたチロース、あるいは菌の生産するペクチナーゼによって植物のペクチン質が分解されて生じたガラクトuron酸がカルシウムイオンと結合して生じたゲルなどにより道管閉塞が生じ、植物は萎凋する。菌が道管内で生産する二次代謝物が、植物の萎凋を誘導する場合もある。宿主植物の損傷が激しくなると、菌は葉の道管（葉脈）内などで微小菌核を形成し、これが枯れた宿主植物の組織残渣とともに土壌に入り、次作の伝染源となる。

出題意図

- ・萎凋病や半身萎凋病、青枯病など、維管束組織に病原菌が繁殖して植物が萎凋症状を呈する萎凋性の道管病は、土壌伝染性病害の中でも被害が大きく重要な病害である。ここでは、そのようなタイプの病害に関する知識と理解を問う。

問2. 次の（１）～（４）に示す用語について、意味を説明しなさい。

解答例

（１）空気伝染

病原菌の胞子や病原体が付着した塵芥などが、風により空中に飛散することによって病原体が伝播する伝染様式。風媒伝染とも言う。地球規模の気象現象（ハリケーンや偏西風など）によって大陸間の伝播が起きるケースもある。

（２）チロース

道管病菌が道管内に侵入した場合に、それを認識した宿主植物において誘導される動的抵抗性的一种。道管周辺の柔細胞が膨張し、道管の壁孔から道管内に侵入して道管を閉塞させ、これにより病原菌の移行を妨げる。これと同時に、ファイトアレキシンの蓄積や道管内壁のスベリン化も進行し、病原菌を封じ込める。

（３）宿主交代

さび病菌の一部には、二種類の異なる宿主を渡り歩いて生活するものがある。例えば、ナシ赤星病菌は春～夏にはナシに感染するが、秋～冬にはビャクシン類に感染する。このように、ひとつの病原菌の伝染環の中で宿主植物の種類を変える現象を宿主交代という。

（４）多犯性

一種類の病原体が、種の異なる様々な植物を同時に宿主とし得る性質を、多犯性と呼ぶ。例えば、灰色かび病菌は多犯性の植物病原菌の典型であり、トマト、イチゴ、キュウリ、ナス、レタスなど様々な植物種に感染する。

出題意図

- ・植物病理学分野における専門用語の意味や、その用語が指す現象に関する正しい知識を持つかどうかを問う。

应用昆虫学

<出題意図と解答例>

問 1

出題意図

- (1) (2) 応用昆虫学の基礎である昆虫生態学における生物間コミュニケーションおよび有性生殖の性比に関する基礎的な知識を問い、その理由を正しく説明できるかを問う出題である。
- (3) 応用昆虫学の中でも害虫防除に関して、耕種的防除に関する知識を問う問題である。緑肥植物（リビングマルチ）を植えた圃場には、害虫防除効果、他には効果があるのかを正しく理解しているのか問う問題である。また (4) については殺虫剤抵抗性の仕組みやそれを回避する殺虫剤散布法を正しく理解しているのかを問う問題である。

解答例

- (1) ハナカマキリはランの擬態することで訪花性昆虫を捕食する。自然界において、訪花性昆虫が会合するランの大半がハナカマキリだと仮定すると、訪花性昆虫は頻繁にハナカマキリの攻撃されることになり、捕食を回避する行動が進化すると考えられる。その結果、ハナカマキリは餌をとれなくなり個体数が減少する。両者の進化的軍拡競争の結果、訪花性昆虫が常に捕食回避しない程度の頻度でハナカマキリに遭遇する密度に安定すると考えられる。
- (2) メスがオスの 20 倍多い個体群を仮定すると、各オスはメスの 20 倍の繁殖成功が期待される。子がすべてオスである親は、メスの子しか持たない親が得る孫の数に比べ、ほぼ 20 倍の数の孫を得ることになると考えられる。子の性比をオスに偏らせた方が有利なので、メスに偏った性比は進化的に安定でない。そのためオスが増えて、1 : 1 に近づく。
- (3) ① ナスの害虫であるオオタバコガやハスモンヨトウの個体数は緑肥植物区で少なくなっていることが予想される。図より緑肥植物区に見られるハネカクシ類、クモ類、ゴミムシ類といった肉食性の生物の個体数が多くなっていることから、緑肥植物があることで天敵相が豊かになっていることが考えられる。その理由としては、これらの天敵生物がナスの害虫類を捕食していることが考えられる。
- ② 緑肥植物があることで、緑肥植物が肥料となりナスの生育が良くなる。また、ナスの害虫を天敵生物が捕食することで薬剤散布回数が少なくなる。加えて、圃場の乾燥防止になったり、雨による土壌の流出が抑制されたり、夏では地温の高温の抑制効果なども期待できる。
- (4) 単独の殺虫剤を散布する他にも、同じ作用機作を持つ殺虫剤を連続して散布しても抵抗性が発達してしまう。これを防ぐには作用機作の異なる殺虫剤を最低でも 3 薬剤（3 つの作用機作）を用意し、さらに害虫の世代を見極めて散布を行うことが必要である。同じ世代であれば 1 つの薬剤を散布することは構わないが、世代が変わったら違う作用機作の殺虫剤を散布する。これを三世代繰り返し、4 世代目にはまた最初の殺虫剤を散布したとしても抵抗性は発達しない。3 つの作用機作以上に多くの作用機作を持つ殺虫剤が用意できれば、さらに抵抗性系統の発達するリスクは抑えられる。

問 2

出題意図 応用昆虫学の教科書にも載っている基本的な用語や昆虫種について正しく理解し具体的に説明できるかを問う問題である。

解答例

(A) 絶対休眠 と 随時休眠

絶対休眠は内因性休眠ともいい、年 1 化の昆虫に多い、その個体が休眠することが遺伝的に決まっているので、日を長くしても高温でも、飼育条件に関わらず休眠する。

随時休眠は外因性休眠ともいい、年 2 化以上の昆虫に多い、休眠するするか否かはその個体の経験した環境条件で決まるため、飼育の条件で休眠の有無を操作することができる。

(B) コレマンアブラバチ

アブラムシの内部寄生蜂。成虫がアブラムシに産卵して幼虫が体内を摂食し殺す(捕食寄生)。ハチが蛹になる時にアブラムシ体内に吐糸することでアブラムシの体が膨らみマミーと呼ばれる状態になるので寄生しているか否かが判定できる。バンカー植物に用いられており、害虫が少ない時の天敵の定着にも大きな役割を示している。

(C) 進化的安定戦略

ある集団の全ての個体とその戦略を採用した場合、他の戦略に取って代わられることのない戦略

(D) 見かけの競争

直接的には競争しない 2 種の被食者間で、1 種が共通の捕食者を増加させることで間接的に他種に負の影響を及ぼすこと。

土壤学

模範解答（土壌学 2026 年入学）

問 1. 次の用語を説明しなさい.

(1) 2:1 型鉱物

粘土鉱物の一種で、1 枚の八面体シートを 2 枚の四面体シートが挟む構造を持つ鉱物。代表例としてイライトやスメクタイトがあり、層間にカチオンや水を保持できるため、陽イオン交換容量（CEC）が高く、膨潤性を示すものもある。

(2) 永久しおれ点

植物が水を吸収できなくなり、回復不能となる土壌水分状態のこと。通常は土壌水分ポテンシャルが約 -1.5 MPa のときに相当し、作物生育限界を示す指標である。

(3) アーキア

古細菌とも呼ばれる原核生物で、細菌（バクテリア）とは系統的に異なる。極限環境（高温、高塩、低酸素など）にも生息し、メタン生成菌や硝化アーキアなど、土壌の炭素・窒素循環に重要な役割を果たす。

(4) シアノバクテリア

光合成を行う原核生物で、かつては藍藻と呼ばれた。水田や乾燥地などの土壌に生息し、 CO_2 固定および一部は窒素固定も行う。地球初期の酸素生成にも寄与し、現代でも土壌肥沃度や生物被覆に関与する。

(5) 苦土加里比

土壌中の交換性マグネシウム（苦土）と交換性カリウム（加里）の比率を指す。作物の栄養バランスやカリウムの吸収抑制に関与し、適正な比率（例： $\text{Mg/K} \approx 1 \sim 2$ ）が維持されないとき拮抗作用により吸収障害が生じる。

問 2. 土壌中で生じる硝化反応について

(1) 従来の 2 段階硝化過程について説明しなさい.

従来型の硝化反応は、主に好気条件下で次の 2 段階により進行する。

①アンモニア酸化：アンモニア (NH_4^+) がアンモニア酸化細菌（AOB）またはアンモニア酸化アーキア（AOA）によって亜硝酸 (NO_2^-) に酸化される。

②亜硝酸酸化：亜硝酸が亜硝酸酸化細菌（NOB）により硝酸 (NO_3^-) に酸化される。

この 2 段階で無機態窒素が硝酸態に変換され、植物が吸収しやすい形となるが、土壌中の硝酸は流亡や脱窒による環境リスクも伴う。

(2) コマモックス細菌による 1 段階硝化過程について説明しなさい。

コマモックス (Comammox : complete ammonia oxidizers) 細菌は、アンモニアから硝酸までを 1 つの生物で完全に酸化できる細菌群である。代表属は *Nitrospira* であり、従来は NOB に分類されていた。コマモックス細菌は、低栄養環境下でも生育可能で、AOB や NOB よりも遅いが安定した硝化を行う。これにより、硝化プロセスがより効率的かつ低環境インパクトで進行可能となる。

問 3. 次の文章を読み、問に答えなさい。

(1) (ア) ～ (キ) に入る数字や語句を答えなさい。

- (ア) 2.0
- (イ) 0.02
- (ウ) 粗砂
- (エ) 細砂
- (オ) 0.02
- (カ) 0.002
- (キ) 粘土

(2) 土壌の粒子と生物多様性がどのように関係するかを述べなさい。

土壌粒子の大きさや構成は、生物の生息空間や資源の分布に大きな影響を与える。たとえば、粘土含量が多い土壌では微小孔隙が発達し、微生物が安定して定着しやすい一方、砂質土壌は通気性が高く、乾燥しやすいため特定の菌や小動物に適応が求められる。また、粒子構成は水分保持力や有機物の吸着性、空気の流通性にも影響し、これが菌類、細菌、線虫、ミミズなどの多様な生物の分布や活動に影響する。

さらに、粒径の違いが生物間の相互作用（競争・捕食）や多様性の維持にも寄与しており、土壌構造の複雑性が高いほどニッチが多様化し、生物多様性が高くなる傾向がある。

■ 出題意図

本問は、土壌の基本的な物理・生物・化学性や、土壌を構成する物質、水分環境の変化に対する応答、土壌中に存在する微生物や化学物質によって生じる植物への影響など、土壌学に関する基礎知識に加え、その知識を土台として低肥料による持続可能な農業生産の実現や、気候変動や環境ストレスに対応する土壌の管理と機能強化、土壌微生物を中心とした物質循環プロセスの将来的な農業利用といった現代社会が取り組むべき諸問題に対する土壌学の応用的な知識を評価します。

具体的には、学部レベルの土壌学の古典的な基礎知識（粘土鉱物の構成・粒径組成・硝化細菌など）に加えて、近年の進展が目覚ましい物質循環系（とくに硝化）に関する新たな知識を評価するとともに、フィールドサイエンスに基づく土壌機能の詳細な理解とその利用に関する分析力・思考力を評価します。これらの能力は、大学院での高度な学修と土壌学に関する研究に主体的に取り組む上で必要な能力であり、本問はこれらの観点から受験者の資質を総合的に評価することを意図しています。

学費栄時財

植物栄養学

■ 解答

問 1.

(1) リンは、リン脂質や糖リン酸、ATP などの代謝成分に含まれ、細胞の生理機能に重要な役割を果たす。リン酸は DNA や RNA においては構造的な安定性に寄与し、遺伝情報の伝達や転写に機能する。タンパク質のリン酸化は、翻訳後調節の機序の一つである。

(2) 植物がリン欠乏状態となると、一般に葉色が濃くなり、アントシアニンが蓄積することも多い。とくに、下位葉から欠乏症状が観察されやすい。節間伸長が抑制されるなど、地上部全体が矮化する。

(3) ホウ素は、カルシウムとともに細胞壁のペクチン構造に必須である。ホウ酸は、ペクチンのラムノガラクトナン II 領域とエステル結合し、ペクチン同士の架橋に機能する。これによりペクチンがゲル化するため、ホウ素は細胞壁の安定性に寄与する。

(4) 植物がホウ素欠乏状態になると、蒸散の小さな若い組織や伸長・肥大する組織で欠乏症を呈しやすい。新葉の展開不良、節間伸長の抑制や、生殖生長期には不稔が典型的な症状である。根の伸長も阻害され、塊茎や塊根では中心部の壊死が発生する。

問 2.

NIP5;1 と BOR1 という 2 つの輸送分子が協調的に機能し、ホウ素欠乏環境に応答する。まず、アクアポリンのファミリー分子である NIP5;1 の発現が誘導され、根の表皮において土壌からのホウ酸吸収を促進する。続いて、BOR1 が根の表皮や内皮細胞の維管束側に偏在し、細胞外へとホウ酸アニオンを排出する。これにより、維管束方向へのホウ素輸送が促進される。導管に積み込まれたホウ素は、根から地上部へと輸送・分配される。

問 3.

イネにおけるカドミウムの輸送プロセスは、土壌からの吸収、導管を介した根から地上部への輸送、子実（種子）への篩管輸送の 3 つに大別される。マンガン輸送体である OsNramp5 は根の外皮と内皮の細胞膜に発現し、根のカドミウムの吸収に大きく寄与する。吸収された細胞内のカドミウムは、OsHMA3 によって液胞に隔離される。OsHMA3 の活性が高いイネ系統では、結果的に根の中心柱に到達するカドミウム濃度が低下し、根から地上部へのカドミウム導管輸送が抑制される。地上部では、節に発現する OsLCT1 や OsHMA2 が篩管を介した種子へのカドミウム輸送を制御する。

問 4.

畑作物は一般に硝酸イオンを窒素源として好み、好硝酸性植物と称される。一方でイネは好アンモニア性植物といわれ、アンモニア態窒素を含む条件で生育が良好となる。湛水状態の水田土壌は還元的な条件であり、アンモニウムイオンが主要な窒素の形態となる一方、畑土壌ではより好氣的で硝化が進むため、アンモニウムイオンは硝酸イオンに変換される。畑作物用の水耕液では硝酸イオン、水稻用の水耕液ではアンモニウムイオン濃度がそれぞれ主要な窒素源となっており、畑作物と水稻の窒素源の嗜好性と土壌中の化学形態を反映した組成となっている。

■ 出題意図

本問は、植物の無機栄養素の生理機能と植物の欠乏応答、有害元素など土壌環境ストレスに対する植物応答など、植物栄養学に関する基礎知識に加え、その知識を土台として低肥料による持続可能な農業生産の実現や、気候変動や環境ストレスに対する植物の耐性の強化、有害元素を含まない安全な食糧生産といった現代社会が取り組むべき諸問題に対する植物栄養学の応用的な知識を評価します。

具体的には、学部レベルの植物栄養学の古典的な基礎知識（栄養素の生理作用や欠乏症など）に加えて、近年の進展が目覚ましい植物の栄養応答における分子メカニズムに関する知識を評価するとともに、分子的な知識と植物の個体レベルでの栄養動態・生理に結びつけて理解する分析力・思考力を評価します。これらの能力は、大学院での高度な学修と植物栄養学に関する研究に主体的に取り組む上で必要な能力であり、本問はこれらの観点から受験者の資質を総合的に評価することを意図しています。