

1. 試験問題

問 1. 次の設問の中から 2 問を選択し解答しなさい。選択した問題の番号を解答用紙の□に記入しなさい。

- (1) CAM 植物の形態学的・生理学的・生態学的特徴をそれぞれ説明しなさい。
- (2) 植物群落において純生産量 (P_n) に影響を及ぼす要因の一つとして葉面積指数 (LAI) が挙げられる。 P_n と LAI との関係について、群落の総生産量 (P_g) と呼吸量 (R) の視点から説明しなさい。
- (3) C4 植物が C3 植物よりも高温・乾燥環境に適応している理由を、葉の内部構造と生理機構の違いに着目して説明しなさい。

問 2. 次の事項の中から 3 問を選択し簡潔に説明しなさい。選択した問題の番号を解答用紙の□に記入しなさい。

- (1) ミトコンドリアにおける酸化的リン酸化
- (2) 光合成産物のローディングとアンローディング
- (3) グリコール酸代謝
- (4) 成長効率
- (5) 光合成の量子収率

2. 解答例

問 1. 次の設問の中から 2 問を選択し解答しなさい。選択した問題の番号を解答用紙の □ に記入してください。

(1) CAM 植物の形態学的・生理学的・生態学的特徴をそれぞれ説明しなさい。

以下の内容を含めて論述されていれば良い。

観点	特徴の概要	具体例・説明
形態学的特徴	厳しい環境に適応した構造的な特徴	- 葉の多肉化（厚く、水を蓄える） - 小さな葉面積とクチクラの発達 - 気孔が主に葉の裏面に集中し、密度は低いことが多い - 葉肉細胞に大きな液胞を持ち、リンゴ酸を蓄積 - 夜間に PEPC で CO_2 をリンゴ酸として固定し、液胞に蓄積
生理学的特徴	代謝・機能の時間的制御による高効率な水利用と CO_2 固定	- 昼間は気孔を閉じ、リンゴ酸から CO_2 を放出しカルビン回路を回す - 葉内 pH の昼夜変動（夜：酸性化、昼：中性化） - 光合成速度は高くないが水利用効率（WUE）が非常に高い
生態学的特徴	乾燥・塩生・光強度の高い環境に適応	- 砂漠、岩場、塩性湿地、着生環境などに多く分布 - 生育速度は遅いが寿命が長い（ストレス耐性型の生活史戦略） - 限られた資源環境での省エネ型の生存戦略 - 陰湿な環境では CAM を抑制し C_3 光合成に切り替える通性 CAM 型も存在（例：アイスプラント）

(2) 植物群落において純生産量 (P_n) に影響を及ぼす要因の一つとして葉面積指数 (LAI) が挙げられる。 P_n と LAI との関係について、群落の総生産量 (P_g) と呼吸量 (R) の視点から説明しなさい。

群落形成の初期段階では、LAI が小さく光の競合が少ないため、 P_g は LAI の増加とともにほぼ直線的に増加する。しかし、LAI が大きくなるにつれて群落内部の光競合が著しくなり、LAI の増加に見合うほどの P_g の増加はみられなくなる。 P_n は P_g と R の差として表されるので、 R が LAI の大きさに比例して増加する場合には、 P_n はある特定の LAI で極大値を示す単頂型のカーブを描く。この LAI を最適葉面積指数という。一方、 R が P_g に比例して増加する場合には、LAI の増加に伴って相互遮蔽が強まり、 P_g が頭打ちになると、 R も頭打ちになるため、 P_n はある特定の LAI で飽和するプラトー型となる。また、単頂型とプラトー型の中間型を示す群落も多い。

(3) C_4 植物が C_3 植物よりも高温・乾燥環境に適応している理由を、葉の内部構造と

生理機構の違いに着目して説明しなさい。

以下の内容を含んでいること。

1. C4 植物は CO_2 濃縮機構を持つ。

C4 植物では、葉肉細胞で CO_2 が PEPC (ホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼ) で固定される。固定されて合成した有機酸は維管束鞘細胞に輸送され、脱炭酸される。維管束鞘細胞の密閉性は高く、Rubisco 周辺の CO_2 濃度が増加することで、光呼吸が抑制される。特に高温条件下での Rubisco の O_2 親和性上昇 (光呼吸増大) を回避できる。したがって、高温でも光合成効率が維持されやすい。

2. 水利用効率 (WUE: Water Use Efficiency) が高い。

C4 植物は、 CO_2 濃縮機構をもつため、気孔開度を低く保ったまま十分な量の CO_2 を葉内に取り込むことができる。その結果、蒸散を抑えながら光合成を維持できる。

3. Rubisco 量が少ない (窒素利用効率が高い)。

維管束鞘細胞における CO_2 濃縮により Rubisco による CO_2 固定の効率が向上するため、Rubisco の合成量が C3 植物より少なくて済む。その結果、窒素利用効率 (NUE) が高く、乾燥地や痩せた地でも生育しやすい。

4. 最適温度が高い

C4 光合成関連酵素 (特に PEPC や NADP-ME) は高温耐性を有する。温度上昇に伴い、C3 植物では最適温度以上の温度では光合成効率が急激に落ちる一方で、C4 植物は 30～40℃ 程度の高温でも効率を維持することが可能である。

次の事項の中から 3 問を選択し簡潔に説明しなさい。選択した問題の番号を解答用紙の □ に記入してください。

問 1.

(1) ミトコンドリアにおける酸化的リン酸化

呼吸によって得られた電子を利用して ATP を合成する過程であり、真核生物のエネルギー代謝の中心となる仕組みである。NADH や FADH_2 が持つ高エネルギー電子を、ミトコンドリア内膜上の電子伝達系 (ETC) で酸素へと渡す際に生じるプロトン勾配を利用し、ATP 合成酵素によって $\text{ADP} + \text{Pi}$ から ATP を合成する反応である。

(2) 光合成産物のローディングとアンローディング

葉で作られた光合成産物 (主にスクロース) が維管束 (師管) を通じて植物体内に輸送される過程のうち、葉の葉肉細胞で合成されたスクロースが、葉脈近くの師部随伴細胞

胞や師管要素へ移動し、師管に移動する過程をローディングといい、転流されてきた同化産物が師管からシンク器官に入ることをアンローディングという。

(3) グリコール酸代謝

グリコール酸代謝とは、C3 植物の光呼吸において Rubisco の酸素化反応によって生じた代謝中間体グリコール酸を解毒・再利用するための一連の代謝経路である。葉緑体、ペルオキシソーム、ミトコンドリアで行われる。葉緑体で合成されたグリコール酸は、ペルオキシソームに輸送され、酸化されてグリオキシル酸となり、アミノ基を受け取ってアミノ酸の一つであるグリシンになる。グリシンはミトコンドリアで、脱炭酸されてセリンになり、セリンはペルオキシソームに戻って脱アミノされたのち還元されてグリセリン酸になる。グリセリン酸は葉緑体にもどりリン酸化をうけて、3-ホスホグリセリン酸 (PGA) となり、カルビン・ベンソン回路に入る。ペルオキシソームにおいて O_2 を吸収し、ミトコンドリアで CO_2 を放出するが、ATP は生成しない。光呼吸による炭素と窒素の損失をある程度回収する意義がある。

(4) 成長効率

ある一定期間における乾物増加量 (ΔW) を ΔW と呼吸量の合計で割った値。すなわち、ある一定期間に生み出された光合成量のうち、どれだけを成長に用いたかを表す。

(5) 光合成の量子収率

吸収された 1 光量子当たり固定された二酸化炭素の量。

3. 出題意図

この試験は植物生産生理学分野の基本概念と応用理解を確認することを目的としている。特に以下の点を評価する設計になっている。

1) 基礎知識の体系的理解

CAM 植物や C3/C4 植物の特徴、光合成・呼吸の代謝経路など、教科書レベルの必須知識を正確に説明できるかを確認。形態・生理・生態といった複数の観点から整理して答えさせることで、断片的な知識ではなく体系的な理解を要求。

2) 植物群落・作物学的視点の理解

P_n (純生産量)、 P_g (総生産量)、 R (呼吸量) と LAI (葉面積指数) の関係を説明させる問題は、個体レベルを超えた群落・圃場レベルでの光合成生産の理解を問うもの。「最適 LAI」など作物生産に直結する概念を理解しているかを確認。

3) 適応生理の比較・応用

C3 と C4 の比較により、葉の解剖学的構造と生理的特性を結びつけ、環境適応 (高温・乾燥地への適応) を説明させる。作物改良や生産適地の理解につながる応用的な思考力を確認。

4) 基礎代謝・輸送経路の理解

問 2 の小問 (酸化的リン酸化、光合成産物のローディング/アンローディング、グリコール酸代謝、成長効率、光合成の量子収率) は、以下の項目に関連する基礎知識を短答形式で確認するもの。

- ・ 細胞内エネルギー代謝
- ・ 同化産物の転流
- ・ 光呼吸や代謝経路
- ・ 生産生理の評価指標
- ・ 光合成効率の物理的基盤

5) 記述力と論理性の確認

設問は単なる暗記ではなく、「構造→機能→適応」の流れで論述する力を問う形式。将来、研究者として論文執筆や議論を行うための「科学的な説明力」を測る意図がある。

このように、試験全体は「植物の環境適応と生産効率を理解するための基礎学力と応用力」を測定する意図で設計されており、ミクロ (細胞内代謝) からマクロ (群落・生産生理) までの統合的な理解、作物学・資源植物学への応用を見据えた生理学的基盤の定着および論理的記述力の確認を意図している。