

プロジェクト名：植物生体電位応答を利用した植物工場内環境制御システムの開発

プロジェクト代表者：長谷川 有貴（理工学研究科・助教）

1 はじめに

近年、植物工場の存在およびその利用価値が一般的にも注目を集め、より効率の良い植物工場の確立が求められている。本研究では、植物の生理活性状態と密接に関連しており、周囲環境変化に対しても敏感な応答を示す生体電位を活用し、植物による栽培環境制御システムを開発することを目的とした。現在の植物工場では、最適栽培環境を実現するために、二酸化炭素、温度などを管理する様々なセンサが利用されているが、これらの導入、管理や制御には多大なコストがかかる。

本研究で開発する植物生体電位応答を利用した環境制御システムの実用化によって、それらのセンサが不要な「植物による植物のための環境制御」が実現すれば、生体電位の観測システムのみで最適環境への制御が可能となる。これまでに提案されてきた植物情報を使った環境制御では、他のセンサとの併用が必要であるため、大幅なコスト削減に寄与するとは言えなかった。しかし、植物の生体電位応答からは、植物自体の状態だけでなく、温度、水分量などの情報も収集可能であるため、運用コストに悩まされてきた植物工場の発展、普及に大いに貢献できる画期的な技術となることが期待できる。

2 実験概要

本研究では測定対象として、多年生で安定した状態を保ちやすい、観葉植物のゴールドポトスを用いた。図1に植物生体電位測定装置の概略図を示す。電位測定用電極には、脳波測定用皿電極を用い、導電性ペーストを介して葉の表面と葉柄に設置し、葉柄側を基準電極とした。電位は高インピーダンス入力に対応したデジタルマルチメータによって測定し、サンプリング間隔1秒でコンピュータに記録した。植物は容積22.4Lの密閉容器に静置し、光合成

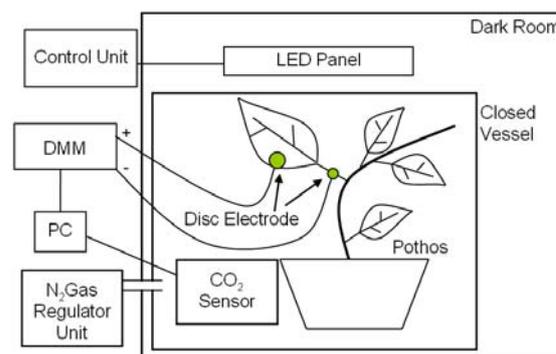


図1 植物生体電位測定装置

速度を評価する NDIR 型 CO₂ センサと、植物の光合成を抑制したときの応答を得るために、N₂ ガスレギュレータユニットを設置した。実験は、温度約 20~30°C、相対湿度約 50~60%の暗室内で行った。光源には、青 (470nm)、緑 (525nm)、赤 (660nm)、遠赤色 (735nm) の LED を数量比 1:1:3:1 で配したパネルを用い、コントロールユニットにより各 LED の点灯状態と光量を制御した。なお測定は、光遮断状態に約 60 分静置した状態から電位の測定を行った。

実験では、光照射時の光合成活性と生体電位応答との関連を明らかにするために、空気中と窒素中での光照射、遮断に対する生体電位の測定を行うと共に、光の波長と生理活性との関連について検討した。

3 光照射と生体電位応答

まず、空気中および窒素中での光照射、遮断に対する電位応答例を図2に示す。いずれも、光の照射遮断に応じた応答が見られる。また、空気中の光照射開始時の静止電位と電位増加のピークとの電位差を ON_{air}、光遮断直後の静止電位と電位減少のピークとの電位差を OFF_{air} (図2(a)) とし、同じく N₂ ガス中の光照射時の電位差を ON_{N₂}、光遮断時の電位差を OFF_{N₂} と定義し (図2(b))、考察を行った。図3は、ON_{air} と OFF_{air}、ON_{N₂} と OFF_{N₂} の関係について、同一実験での値を組にして相関を示したものであり、ON_{N₂} と OFF_{N₂} では相関係数約 0.97 と強い相関を示していることがわかる。

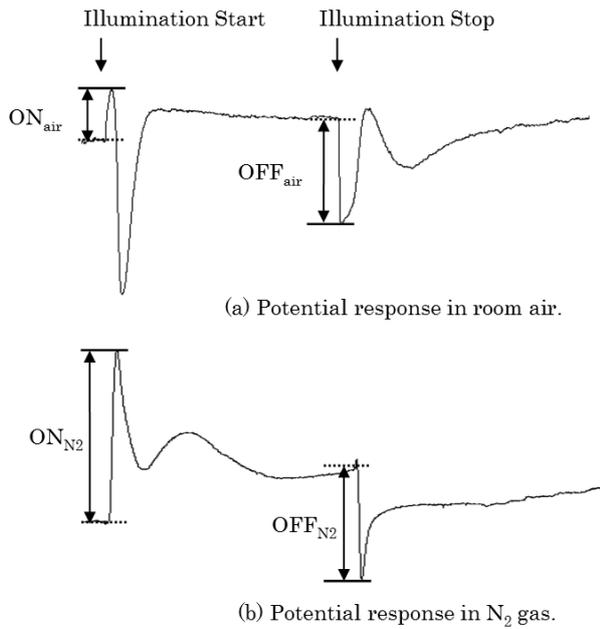


図2 光照射、遮断に対する電位応答の電位差の定義

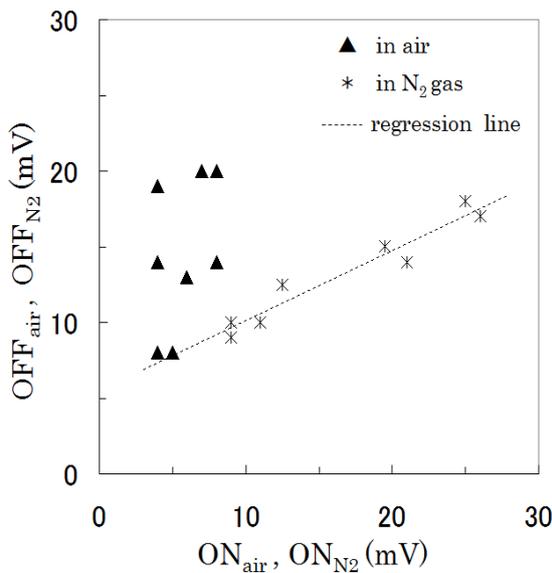


図3 光照射、遮断に対する各電位差の相関

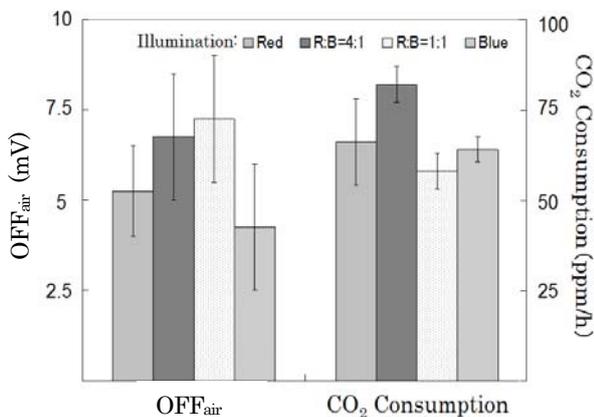


図4 照射光の波長に対する電位差とCO₂消費量

この結果から、ON_{N₂}とOFF_{N₂}は共に、炭素固定反応の影響がないため、ON_{N₂}と相関の高い光遮断直後の電位減少OFF_{N₂}も、光化学反応の活性を示していると考えられる。さらに、炭素固定反応と比べ光化学反応の反応時間は十分に短いため、空気中での光遮断直後の電位の減少量OFF_{air}も光化学反応と強く関係すると考えられる。

さらに、照射光の波長と生体電位の応答特性を検討するために、赤色のみ、青色のみ、赤色と青色の光量比を1:1、4:1に設定した照射光それぞれについて、生体電位の測定を空気中で行った。なお、この実験においては光照射時の応答にばらつきが見られたため、光遮断時の応答(図2のOFF_{air})のみで評価を行った。図4は各波長について9つのOFF_{air}とCO₂濃度減少量の平均をとったものである。この実験からはOFF_{air}とCO₂濃度減少量との間に相関は見られなかった。照射光が赤色のみと青色のみのときのOFF_{air}を比較すると、赤色光照射時のOFF_{air}が大きくなる傾向が見られ、光化学反応の赤色光の利用効率が青色光と比べ、高いことが原因であると考えられる。赤と青の混合光では、赤色や青色単色と比べ、OFF_{air}が大きい傾向が見られ、色の混合による光化学反応の活性化が電位によって捉えられたものと考えられる。なお、植物の葉には青色光の受容体も存在し、青色光照射に対して誘発される生理反応も存在するため、更なるデータの蓄積と検討が必要である。

4 まとめ

本研究の成果から、光照射時の生体電位応答は、光化学反応と炭素固定反応による2つの電位変動が含まれており、光遮断時の応答電位では、炭素固定反応の影響が小さく、光化学反応と強く関連していることが示唆された。そのため、この光遮断時の電位応答を用いて光化学反応の推定を行えば、より詳細な光合成活性の評価ができるだけでなく、照射光の波長による光合成促進の効果を可視化するなど、栽培環境の最適化を行うシステムに応用可能である。