

植物気孔開度に基づく光環境の最適化 -サラダナの光合成応答に基づく間欠照明方法の検討-

岡山大学大学院環境学研究科
難波和彦, 門田充司
〒700-8530 岡山市津島中 1-1-1
TEL:086-251-8364
E-mail:kaz@cc.okayama-u.ac.jp
URL:http://mama.agr.okayama-u.ac.jp/

I はじめに

完全制御型の植物工場(図1)は太陽光を利用しないため、日当たりを考えずに縦に積み重ねて栽培することも可能であり狭い土地においてもより多くの生産が可能である。また、密閉システムは病害の予防にもなり、無農薬栽培で安全な食料植物を提供でき、狭い場所でも栽培できることを利用すれば、より都市に近い場所での栽培も可能であり、輸送コストの軽減、さらにはより新鮮な野菜を提供できる。しかし、普及の最大の問題がコストで、特に照明費が多くを占める電気代の割合が大きい。そこで、本研究では、効率的な光の利用を行うことを目的として間欠照明方法を検討した。



図1 植物工場

環境制御や自動化などの技術を利用した植物の効率生産システムである。温度、光、二酸化炭素、培養液(肥料)等の植物栽培の環境をコンピュータにより制御することで、天候や季節に左右されることなく、衛生的な生産ができる。また、播種や収穫などの自動化により周年生産システムを可能にし、安定生産や無農薬栽培ができるなどのメリットを持つことから、次世代の農業スタイルとして注目されている。

II 実験装置および方法

供試植物として、水耕栽培で3週間以上経過したサラダナ(*Lactuca sativa* L.)を使用した。栽培は3相波長蛍光灯を光源とする環境制御室でPPFD $250\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、温度 20°C 、湿度80%RHで行い、成育中の光合成速度を連続的に測定するために CO_2 アナライザと自作のリーフチャンバを使用した。

III 結果および考察

1. 光合成応答

まず、点灯・消灯に対する光合成系の応答を測定した。明期開始直後は気孔開度が光合成の限定要因になるので、気孔が十分開いた明期開始1時間後に消灯を行った。つぎに CO_2 の吸収が0になった時点で点灯を行い、立ち上がりの応答を測定した。結果を図2に示す。横軸は消灯からの経過時間(min)、縦軸は CO_2 吸収量を示し、今回の環境での最大値を100%、暗期での CO_2 濃度の安定した値の平均値を0とし、これを光合成量と

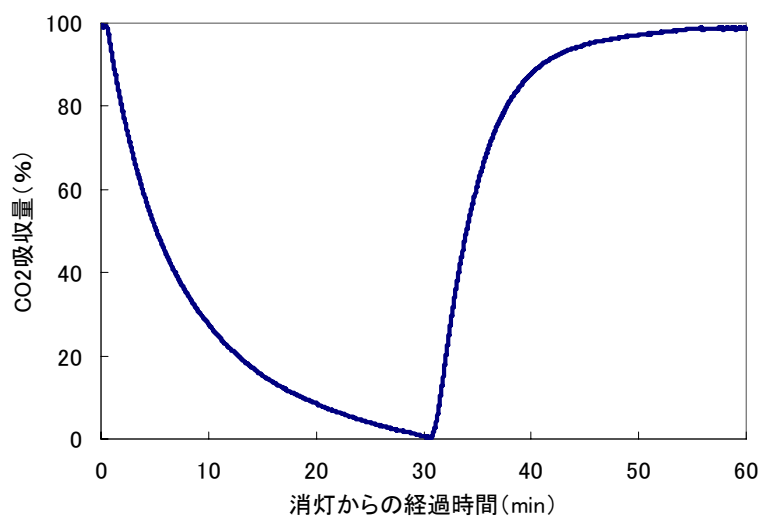


図2 消灯・点灯に対する光合成応答

した。消灯直後、光合成量は直ちに 0 とはならず、10 分程急激に減少し、その後は減少の割合が小さくなりながら 30 分で 0 となった。再点灯後も同様に急激な変化の後、緩やかに元の値へと戻った。光入力に対する光合成量の遅れは、光合成系が光エネルギーを利用して CO₂ を吸収に至るまでにいくつかのプロセスを経ることによるものと考えられた。

2. モデリング

間欠照明方法を検討するにあたり、まず光合成応答をモデル化しシミュレーションを行うこととした。上記のように光合成系は何段階かのプロセスがあるので高次遅れを適用すべきところであるが、今回の測定タイムスケールでは 1 次遅れで十分表記できることから、光をステップ入力とした過渡応答 1 次遅れ系でモデリングを行った。その結果、消灯に対して式 1 を、点灯に対しては式 2 を得た。

$$C_{off} = \exp^{\frac{-t}{7.82}} \times 100 \quad \dots (1)$$

$$C_{on} = \left(1 - \exp^{\frac{-t}{5.07}} \right) \times 100 \quad \dots (2)$$

ただし、 C_{off} は消灯時の C_{on} は点灯時の CO₂ 吸収量 (%), t は消灯・点灯後の経過時間 (min) とした。時定数は最小自乗法で求め、このときの寄与率は式 1, 2 とも 0.98 であった。

3. 間欠照明の検討

消灯後 30min 以内に再点灯を行ったところ、光合成量の立ち上がりは 0% からではなく、再点灯時の光合成量に従うことが分かった。そこで、間欠照明方法の評価として、点灯時間あたりの光合成量を求めた (式 3)。これを光利用効率とした。

$$E = \frac{\int_{t_0}^{t_1} C_{off} dt + \int_{t_2}^{t_3} C_{on} dt}{t_3 - t_2} \quad \dots (3)$$

ここで、 E は光利用効率、 t_0 は消灯開始時刻、 t_1 は消灯終了時刻、 t_2 は消灯終了時刻の光合成量に対応した点灯開始時刻、 t_3 は点灯終了時刻である。ただし、今回は照明装置の機能的制約から最小点灯時間 ($t_3 - t_2$) を 1min とした。

最適化の結果、最も高い光利用効率は光合成量 0 付近で消灯 14min, 点灯 1min を行うことで 1.68 を得た。しかし、この状態では効率が高くてもトータルで得られる光合成量は連続光下の数% でしかなく、実用的ではない。そこで慣行の栽培で多く採用されている、明期・暗期 12h の照明条件を指標として、1 日あたりの光合成量がこの条件を下回らない様に消灯・点灯タイミングを計算した。その結果、消灯 1min・点灯 1min 時に光合成量 61%, 光利用効率 1.22 を得た。この場合明期を 19.2h (実際の点灯時間は 9.6h) とすれば 1 日あたりの光合成量が等しくなり、照明コストを 22% 削減できることが分かった。

この時のシミュレーション結果と、実測値を図 3 に示す。ほぼ予測値どおりの値を得ることができ、モデルの妥当性が確かめられた。

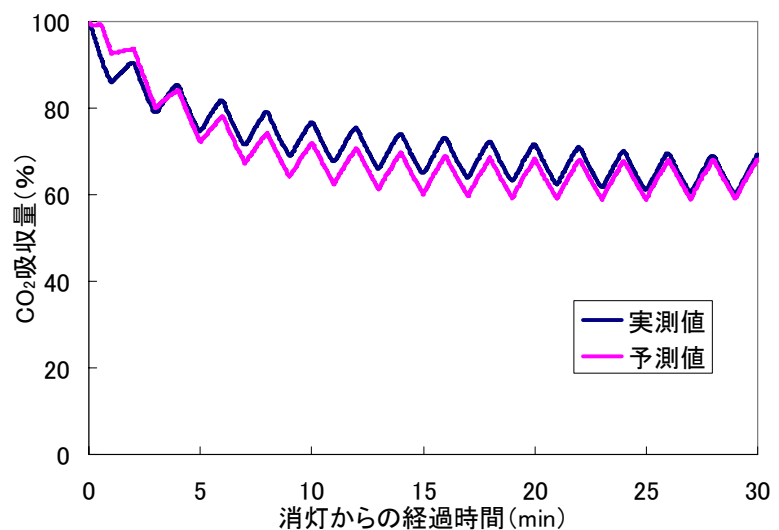


図 3 間欠照明方法の検討結果