カポックに 1/f ゆらぎを付加した光刺激による葉面電位の挙動

平間淳司・小野寺正浩・濱本智朗・高橋直樹・三浦宏康・宮本紀男・弘田憲史*

金沢工業大学工学部 921 石川郡野々市町扇が丘 7-1

*岩崎電気株式会社 361 埼玉県行田市富士見町 1-20

Behavior of the Bio-Electric Potential on the Leaf for the 1/f Fluctuated Light Stimuli

Junji HIRAMA, Masahiro ONODERA, Tomoaki HAMAMOTO, Naoki TAKAHASHI,
Hiroyasu MIURA, Toshio MIYAMOTO and Norifumi HIROTA*

Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ogigaoka, Nonoichi machi, Ishikawa 921, Japan

**Iwasaki Electric Co. Ltd, 1-20 Fujimicho, Gyoda, Saitama 361, Japan*

Abstract

The effect of a light stimulus fluctuated by 1/f on the bio-electric potential of the leaf of a kapok plant was measured. The interval of darkness was fluctuated, with the interval of light kept constant. Temperature and humidity were also kept constant, and the same average value of PPFD was maintained for both types of light stimulus.

Sixteen stimuli (2 values of PPFD $\times$ 2types of light stimuli $\times$ 4 repetitions) were applied in random order.

There were large variations of the bio-potential on the leaf surface under the low PPFD fluctuated light stimulus. However this effect was not observed with high PPFD.

Fluctuated light stimuli may have application for plant growth acceleration and economical production in plant factories.

緒 言

植物工場において、白熱電球や放電灯などの人工光制御による成長制御やランニングコストの軽減に関する研究が多数行われている。また、最近では高輝度 LED やレーザー光線などを用いて光照射を行い、成長促進や形態形成を調節する方法が提案されている^{1,2)}。この場合の照射方法は連続光または時系列的に断続するパルス光である。

ところで、植物は自然自生状態では太陽光のエネルギーを吸収し光合成活動を行っている。自然界には多種多様なゆらぎが存在し、太陽光にもわずかではあるが光の強度に 1/f ゆらぎが観測されている³⁾。また、種々の定常的な外的刺激を与えた場合でも植物などの生体の電気反応にもゆらぎの存在が確認されている⁴⁾。

そこで本研究では、自然界に多く見られる 1/f ゆらぎに着目し、光源に LED を用いてパルス

1996 年 10 月 24 日受付

1997 年 1 月 9 日受理

光による光照射の周期に $1/f$ ゆらぎを付加させた場合とそうでない場合(連続照射)における、植物(観葉植物: カポック)の生体電位である葉面電位の挙動について比較した。その結果、同一の光合成有効光量子束密度 PPFD において連続光とゆらぎを付加したパルス光のそれぞれの光照射と比較すると、ゆらぎを付加した方が葉面電位の変化が大きいことがわかった⁵⁾ ので、今回報告する。

実験方法

今回の実験では、同一の PPFD において照射条件の違い(パルス光の消灯間隔にゆらぎを付加と連続光の2種類)による葉面電位を測定し、その電位の平均値の差について検定を行い、葉面電位の変化に対するゆらぎの効果を検証した。

実験のシステム構成図を図1に示す。実験ブース内の気温・湿度は 20°C 、55% 一定に保たれるように、コンピュータで制御した。なお、今回の実験では、二酸化炭素や酸素などの気体成分の調整は行っていないが、約 2m^3 の実験ブース内は密閉空間であることから、ほぼ一定に保たれていることを確認している。

実験ブース内に設置した銅メッシュを用いたシールドボックス内にカポックを置き、導電性ペーストを塗布した直径約1cmの脳波測定用皿電極(日本光電製: NE-155 A)を葉の葉脈にそって先端部に間隔約1mmで固定した。葉面電位は差動増幅器で増幅した後、ペンレコーダで記録した。光刺激の制御にはパソコンを使用した。光源には超高輝度型赤色LED(SHARP製GL5 HD 43, ピーク発光波長 $\lambda = 635\text{nm}$, スペクトル半値幅 $\Delta\lambda = 35\text{nm}$)を基板に計204個を取り付けて使用した。なお、電極を取り付けた後、6時間の恒常暗状態を保ち、その後、PPFDを 0.8 と $4.5\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の2種類とし、葉面電位の測定を行った。ただし、ゆらぎを付加した場合とそうでない場合のいずれにも光刺激に対するPPFDの平均値は同一となるように制御した。ただし、光源と葉面との距離は9cm一定とし、光源からの輻射熱が葉面に与える影響を防いだ。ちなみに、PPFDが最大の $4.5\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の場合でも、光源自身の温度は周囲温度より高々

図1 実験のシステム構成図

Fig. 1 Block diagram of experimental system

図2 光刺激の波形

Fig. 2 Waveforms of the light stimuli

1°C 高い程度であり、葉面上への温度変化を全く与えないことも確認している。なお、光刺激の各波形を図 2 に示す。今回使用したゆらぎを付加したパルス光の波形としては、点灯時間 t_1 は約 0.88 ms 一定とし、消灯時間の間隔 t_2 に 1/f ゆらぎを付加し、その変化幅は約 8.25 ± 0.75 ms とした。なお、光刺激の ON/OFF のインターバルは 30 分とし、刺激の提示回数のはべ 16 回 (2 種類の PPFD×ゆらぎ (有/無) の 2 種類×4 回の繰り返し) とし、提示順序はランダム化し、1 回の実験ではのべ 20 時間行った。

結果と考察

図 3 に、PPFD=0.8 と $4.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の代表的な葉面電位波形の測定結果を示す。図の縦軸は葉面電位 V_L (mV) を示し、横軸は刺激時間 (h) を示す。この結果より以下のことがわかる。

光刺激が ON 直後に V_L は下降し、OFF 直後にいずれの場合も上昇している。 V_L の変化幅を図中に示した δ と定義すると、光刺激が OFF の方が ON に比べて、 δ はいずれも大きくなる傾向を示す。また、PPFD が大の方が小に比べて、 δ が全体的に大きな値を示す。このことから、PPFD が大きいほど生体内部のイオンの活性化が激しく生じ、葉面電位が大きく変化したと推定される。なお、特に連続的な光照射のみの場合においても PPFD が小から大になるにつれ δ もしだいに大きくなる傾向があることをすでに確認している⁴⁾。

図 4 は、PPFD= $0.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ における実験によって得られた δ の結果を示す。この図より、ゆらぎを付加した方が連続照射に比べて δ の平均値が大きい傾向を示すことがわかる。そこで、 δ について平均値の差を検定した結果、光刺激「ON」で危険率 $\alpha=5\%$ 、「OFF」で $\alpha=1\%$ でいずれも有意差があった。ところが、光強度が強い ($4.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 場合は、 δ の平均値はいずれも有意差がなかった。このことは、カボックの成長には日陰が適し、日向などの強い光には弱いことから、強い光を加えたことによって光合成の光飽和点に達し、ゆらぎの効果に差異が生じなかったためと推測できる。

ところで、今回は連続照射とパルス間隔にゆらぎを付加した照射の場合との比較のみを対象としたが、今後、周期的なパルス光とゆらぎを付加したパルス光とによる光合成促進への効果の比

図 3 光刺激による葉面電位変化

Fig. 3 Bio-electric potential on the leaf for the light stimuli

X 軸: 時間 [3 min/div] Y 軸: 生体電位 [1.45 mV/div] 温度 [4°C/div]

X-axis: Time [3 min/div] Y-axis: Bio-electric potential [1.45 mV/div] Temperature [4°C/div]

図4 δ の測定結果Fig. 4 Widths of variations in the bio-electric potentials δ

較を行う必要がある。なお、予備的ではあるが、両者のパルス光について、同一の PPFD ($= 0.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) で葉面電位の比較の実験を 4 回行ったところ、3 回はゆらぎを付加した光刺激の方がわずかではあるが大きくなる傾向を示し、そのうち 1 回は有意差 ($\alpha=5\%$) があった。

以上のことから平均値が同一ならば、PPFD が小さい場合のみゆらぎ付加刺激の方が光合成活動の活性化が生じ、 δ が大きくなったことから類推すれば、光合成の光反応の明暗反応¹⁾における、特に暗反応の時間(数 ms)に、今回 1/f ゆらぎを付加したことによる暗時間(t_d)の設定時間とがよくマッチングし、さらにゆらぎの効果による相互作用を引き起こしたと考えられる。

しかしながら、一般に植物には個体差が大きいことが知られているので、今回示した結果は必ずしも一般性があるとは言いがたい。したがって、今後は、個体数を多くしたり実験回数も増やし、追実験を行う必要があると考えられる。さらに、PPFD の大小やパルス波形のデューティー比、ゆらぎの変動幅などのパラメータを系統的に変化させることにより明確なゆらぎの有効性を検証する予定である。

結 論

今回の実験の結果、葉面電位の変化幅 δ には PPFD の依存性があることや、連続光に比べパルス間隔にゆらぎを付加した方が δ の変化が大きいことなどから、光合成活動の促進には有効であることが示唆される。

最後に実験に際し、本学学生箕輪 正氏(現:長岡技術科学大学大学院修士課程在学)に感謝します。

参考文献

- 1) 高辻正基・辻 貴之・関 善範・星 岳彦: 可視発光ダイオードによる植物栽培実験, 植物工場学会誌, 7(3): 163~165(1995)
- 2) 高辻正基・山中正宣: レーザー植物工場の可能性, 植物工場学会誌, 6(3): 184~190(1994)
- 3) 住谷正夫・安久正紘・大口國臣: 人工光と自然光のゆらぎの測定とスペクトル解析, 電子情報通信学会誌, J77-A: 1787~1790(1994)
- 4) 大村剛史・佐々木智信・内田 練・小塩功一郎・川崎光雄・深見 正・平間淳司・三浦宏康・宮本紀男: 植物葉面電位信号が示す法則性の解明とその応用, 第 10 回生体生理工学シンポジウム論文集, 2C3-1: 329-332(1995)
- 5) 高橋・小野寺・浜本・平間・三浦・宮本・弘田: カボックに 1/f ゆらぎを付加した光刺激による葉面電位信号の変化, 平成 8 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, B-65: 168(1996)