

LED 光照射時のポトス生体電位変化と浄化能力

大藪 多可志 (国際ビジネス学院, oyabu24@gmail.com)

梶原 祐輔 (立命館大学 情報理工学部, kajiwara@de.is.ritsumeikan.ac.jp)

河内 雅典 (金沢機工株式会社, kh358days_2@yahoo.co.jp)

木村 春彦 (金沢大学 大学院自然科学研究科, kimura@ec.t.kanazawa-u.ac.jp)

Bioelectric potential and purification capability of pothos under LED lights

Takashi Oyabu (Kokusai Business Gakuin College, Japan)

Yusuke Kajiwara (College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Japan)

Masanori Kawauchi (Kanazawa Kiko Co. Ltd., Japan)

Haruhiko Kimura (Graduate school of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Japan)

要約

環境汚染軽減や食糧増産を目的として、有効な植物機能を抽出し活用することが試みられている。これまでも、植物が有している様々な機能は人間に多大な貢献を行ってきた。ここでは、植物機能をリアルタイムに把握し有効な機能を抽出する目的で生体電位を調べた。すなわち、空気汚染物質存在下での光周波数に対する生体電位変化特性である。被験植物としてポトスを採用した。照射光周波数を変えたときのエチルアルコールやホルムアルデヒドに対する浄化能力を調べるとともに、その時の生体電位を計測した。結果として、暗黒下を比較対照特性とした場合に、照射光周波数が高いほど、また、混合光ほど浄化能力が高くなることが明らかとなった。特に、様々な光周波数が混ざっている昼白色光下での能力が最も高い。暗黒下や緑色光下では、生体電位の濃度に対する変動幅が小さく浄化能力が低い。昼白色光下においては濃度変化に対する生体電位の変動幅が大きくなる。光を照射状態から暗黒化状態にすると生体電位が低くなることも明らかとなった。この結果は、汚染物の有無に関わらず得られた。生体電位を詳細に把握することにより、植物をセンサとして活用できる可能性があることがわかった。

キーワード

植物生体電位, LED, 空気汚染, 光周波数, ポトス

1. はじめに

植物は、環境要因を検知しながら生息場所を変えず成長する。その面においては、動物より環境適応能力に優れているといえる。また、根、茎、葉などの様々な器官により気候変動を捉え季節を検知し開花や発芽を行っている。すなわち、植物は気候変動を認識するセンサ機能を有しているといえる。土壌中のみならず空気中の窒素や二酸化炭素などを養分として吸収し地球環境浄化に貢献する。植物センサ機能を活用することができれば、環境変化を認識できるばかりでなく、効率よく食糧増産を行う可能性がある。人間は古代より植物の様々な恩恵(環境浄化、薬効、燃料etc.)を享受しながら生存してきている。植物から発信される情報により、植物センサ機能を把握することができれば効率的な植物利活用が可能となる。植物から発信される信号として色や形状など視覚的なものと生体電位などの電気信号がある。電気信号はコンピュータで管理しやすく環境制御などのフィードバックがしやすい。特に、植物の光合成機能に影響を与える光に対する生体電位特性を把握することができれば、植物工場への有効な活用が期待される。

本研究においては、被験植物としてポトスを選び、LED光照射による空気浄化能力と生体電位変化を調べた。空気浄化機能は、空気中の炭素分子を含む物質を摂取し植物の成長にも関係する。ポトスの生体電位と空気浄化能力の関係が明らか

になれば、室内環境での最大浄化効果を得る光環境を生成し清浄な空気環境を提供できる。省エネルギー住宅の浸透とともにシックハウス症候群を誘発する事例が多くなってきており、植物を用いた高効率空気浄化は高い効果が期待できる。また、植物工場などに応用し葉物野菜などの収穫量向上に貢献できる可能性がある。

実験結果として、光照射によりポトスの空気浄化能力が増加することが明らかになった。また、様々な光周波数が混合している白色光下での浄化効果が最も高くなることも明らかとなった。これはポトスの光合成機能と関連していると思われる。さらに緑色光下での浄化効果は低いという結果が得られた。暗黒下や緑色光下での生体電位のばらつきが小さいなどの結果が得られた。

2. 実験方法

ポトスは、葉面積が多く空気浄化能力に優れ、癒し効果もあることから観葉植物として室内でも設置されている(Kang et al., 2009; Shibata et al., 2010; Sawada et al., 2010)。特に、酢酸エチルなどの揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)やVOC(Very Volatile Organic Compounds)の範疇に入るホルムアルデヒドの浄化に効果がある。ホルムアルデヒドやエチルアルコール雰囲気中に、被験植物としてポトスを設置し空気浄化能力と生体電位の関係を調べた。ポトス鉢はアクリルチャンバー内(575×510×1000 mm, 約300 liter)に設置した(Sawada et al., 2008; Tokuda, et al., 2012, 大藪他, 2015)。空気汚染物として、エチルアルコールやホ

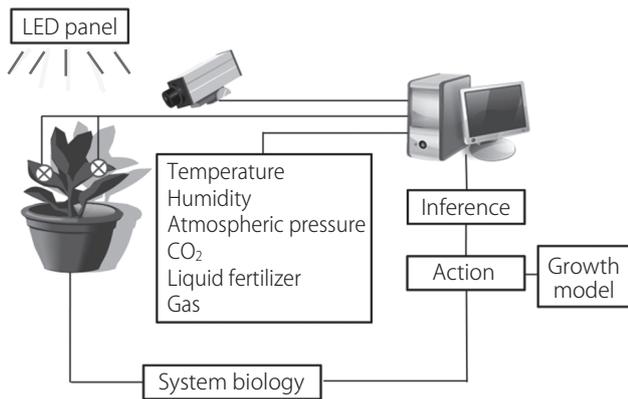


図1：実験システム



図2：被験植物(ポトス)

ホルムアルデヒドを規定量注入し、チャンバー内の濃度変化を調べる。このとき、LEDパネル(チャンバー天井に設置)の光周波数も変化させた。LEDパネルは赤(Red: 660 nm)、青(Blue: 475 nm)、緑(Green: 525 nm)、昼白色(White)の4種類を採用した。さらに暗黒下(Black)と赤と青の両光下(Red&Blue)においても実験を行った。暗黒下は他の光下との比較対象実験(control)として実施した。清浄空気中での暗黒下の特性を基準特性として採用し、その特性からの差を解析に供した。実験としては、光合成に最も関連する昼白色と赤、青色光下を中心におこなった。実験システムを図1に示す。実験に用いたポトスの写真を図2に示す。生体電位は0.1秒毎に入力される。その生体電位の1分間の総和値(v_{m1})により解析を行った。一般に植物生体電位は、 $\mu V \sim mV$ オーダーである。被験植物の隣り合う葉面に電極を取り付け、差動増幅器を用いノイズ成分を除去し100倍に増幅した信号を抽出する。生体電位変化に無関係な高周波ノイズ成分を除去するため、その信号をローパスフィルター(10 Hz)に入力する。さらに、A-Dコンバータとデータロガーを介しコンピュータに入力する。その信号から大雑把な特徴を抽出するため、1時間毎の総和値(v_{h1})も採用した。実験システムに設置されているセンサとして、汚染物濃度を計測する酸化スズ系ガスセンサ(GAS: Figaro TGS#800)、照度計(T&D: PHR-51)、温湿度・気圧計(T&D: TR-73U)がある。実験は午後15時から翌朝6時(ノイズ成分を軽減するため)まで実施した。空気汚染物として

の試薬(ホルムアルデヒドとエチルアルコール)は18時に注入している。

チャンバー内に注入された空気汚染物の濃度変化はガスセンサにより計測し、その特性からポトスの空気浄化能力(Pa)を規定する。すなわち、マイクロシリンジを用いてエチルアルコールやホルムアルデヒド(被験物質)をチャンバー内に注入する。注入と同時にガスセンサ出力電位(v_s : 濃度に対応)が上昇しピーク値に達する。注入する直前の出力(オフセット)とピーク値の差(h)が濃度に対応する。濃度と h がリニアな関係にある。注入後、 Pa により時間経過とともに v_s が緩やかに減少する。この時、注入から h の半値になるまでの時間(半値幅: t_w)により、次式により Pa を求める。すなわち、汚染物濃度(h)に対して浄化が早いほど(急激に h が低下) t_w が小さくなり Pa が大きくなる(Sawada et al., 2007)。

$$Pa = h / t_w \times 100 \quad (1)$$

3. 実験結果

3.1 暗黒下における生体電位

暗黒下(Black)におけるポトス生体電位の3回の平均値特性を基準とした。この基準特性を図3に示す。これは午後15時から翌日午前6時までの1分間の総和値特性(v_{m1})の平均特性

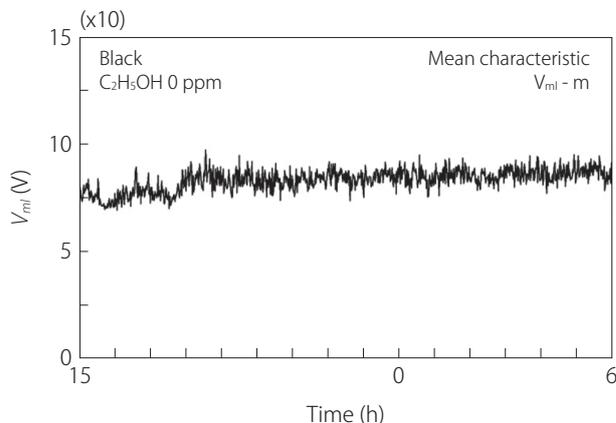


図3：暗黒下におけるポトスの1分間の平均生体電位特性

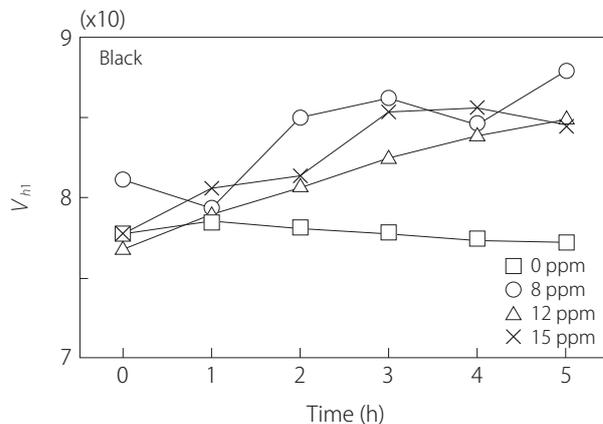


図4：暗黒下におけるエチルアルコール存在下の v_{h1} 特性

($v_{m1,m}$)である。この特性と光照射時や汚染物注入時の特性との差特性を解析に供した。これにより、比較対照特性(control)の変化分を相殺できる。この1時間毎の総和値特性を求め、大雑把な特徴抽出をおこなった。エチルアルコールを8、12、15 ppm注入時の v_{h1} 特性の変化を図4に示す。これは、 v_{h1} 値の注入時(18時)からの時間毎のプロットを5時間に亘り示したものである。無注入(0 ppm)時の特性の変化は少ないが、注入時の v_{h1} は時間経過とともに上昇する。エチルアルコール注入時(無注入0ppm特性を除く)の v_{h1} と時間との相関係数は $\gamma = 0.84$ と高い値が得られている。暗黒下において、エチルアルコールが存在すると生体電位が増加する。また、 $Pa \approx 10$ であった。

3.2 光周波数による浄化能力

暗黒下においては $Pa \approx 10$ と低い。暗黒下においてもポトス鉢は浄化能力を有する。光を照射することにより Pa は増加する。これはポトスの光合成能力と関連があると思われる。光を照射することにより光合成機能が活発になり、二酸化炭素と同様に雰囲気中の汚染物を取り込む機能も活発になる。昼白色光(White)を照射(チャンバー床面で約795 lx)すると $Pa \approx 14.5$ となり、光照射により Pa が45%ほど増加する。その他の光周波数を照射したときの Pa 値をまとめて図5に示す。これは、エチルアルコール濃度が8、12、15 ppmに対する平均値(Pa_{ave})をプロットしたものである。緑色光(Green)照射時の Pa_{ave} は暗黒下(Black)の場合と同様に低い。光合成作用はクロロフィルなどの色素により行われる。クロロフィルは赤色光(波長600~700 nm)と青色光(波長400~500 nm)を利用し光合成をおこなう。緑色光(500~600 nm)は殆ど利用されない。このことが緑色光に対する Pa_{ave} プロットが低くなっているものと思われる。赤色光は草体を大きくする。青色光は茎や葉をしっかりと成長させるといわれている。緑色光は開花促進に寄与すると報告されている。総合的に、周波数が高くなれば Pa_{ave} が大きくなる傾向がある。様々な周波数が混合している昼白色(White)や赤と青色光の混合光(R&B)の Pa_{ave} は14を超えている。結果として、照射光周波数と浄化能力には相関があり、波長が短く混合光ほど浄化能力が高くなる。

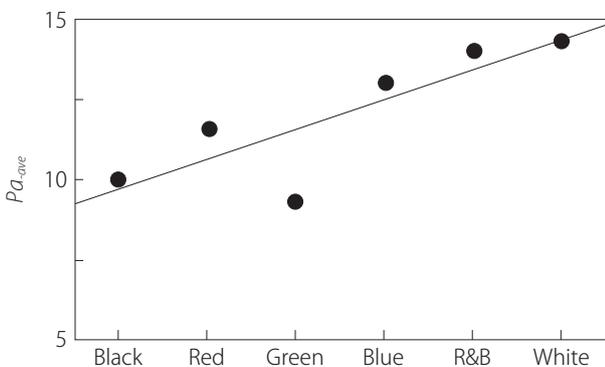


図5：各照射光下の平均浄化能力

ホルムアルデヒド(CH_2O)に対する Pa 特性も調べた。照射光として赤、青、昼白色を選んだ。各濃度に対する Pa 値は濃度増加とともに増加する。これを図6に示す。また、照射光による顕著な差は認められなかった。暗黒下においては $Pa \approx 4$ でありエチルアルコールの場合よりも小さい。物質を変えた場合、ガスセンサの感度が異なるため浄化能力の単純な比較はできない。これは鉢土壌へのホルムアルデヒドの吸収や根圏微生物の分解によるものと思われる。図6においては概ね $Pa \approx 8-15$ である。濃度が高いと浄化能力が高くなり、照度光による顕著な差異はないといえる。これは、エチルアルコールの場合(図4)と同様である。汚染物により浄化能力特性が異なる。植物の気孔の大きさや蒸散効果により、特性が異なることが予想される。赤色に対する能力が高いといえる。

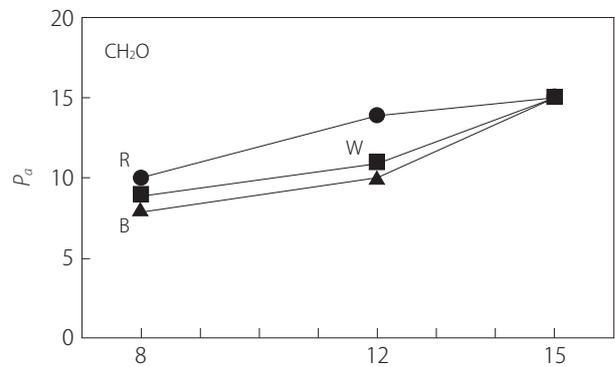


図6：各光照射によるホルムアルデヒドの浄化能力

3.3 光照射による生体電位変化

照射する光波長により浄化能力が異なることが明らかとなった。浄化能力は光合成機能に深く関係しているものと思われる。浄化能力と生体電位との関係を抽出することができれば、植物の成長などを把握できる。逆に、生体電位により浄化能力を類推したり照射光を同定したりできる。ここでは、照射光を変えた時のエチルアルコール注入後の時間経過に対する v_{h1} の値を求めた。各光下において、注入

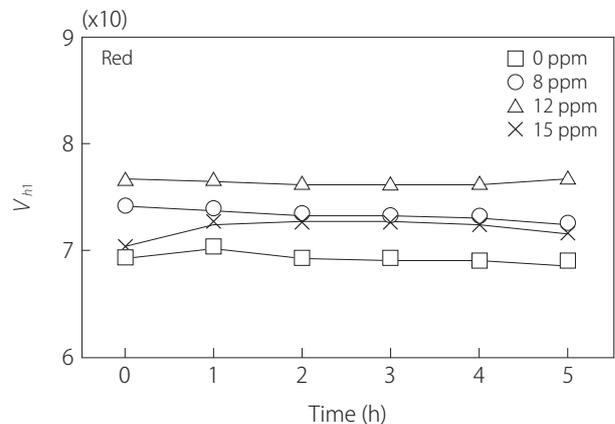


図7：赤色光照射時の生体電位 v_{h1} 特性

濃度をパラメータとしてプロットした特性を求めた。赤色光 (Red) に対するエチルアルコール注入後の v_{h1} 特性を図7に示す。0ppm時の特性が低いものの、注入濃度により v_{h1} の変化に規則性がない。時間的にも増減する傾向はなく、概ね一定といえる。

緑色光 (Green) 下での同様な特性を調べた。その結果を図8に示す。赤色光下に比べて v_{h1} 値のエチルアルコール濃度に対する変動幅は少ない。また、その値は小さい傾向にある。これは、緑色光は光合成に殆ど寄与しないことによるものと思われる。濃度による差異がないことが特徴である。一方、昼白色光下においては、エチルアルコールを注入しない場合の v_{h1} 値が高い。濃度が高くなると v_{h1} 値が低くなる傾向がある。これを図9に示す。この場合においては、光合成が十分に行える光下であるのに吸収するガス状物質が少ないことから生じる現象ではないかと考えられる。

以上の実験結果から、生体電位は照射光周波数に依存するといえる。周波数毎の特徴から光合成機能に関連していると思われるが、本実験の範疇では同定できるだけの結果が得られていない。今回の結果を基にさらに実験を進める必要がある。光下における v_{h1} 値が光合成に関連するのであれば、光のon-offに対して特性が変化する可能性がある。このため、光on-offに対する v_{h1} 値を調べた。

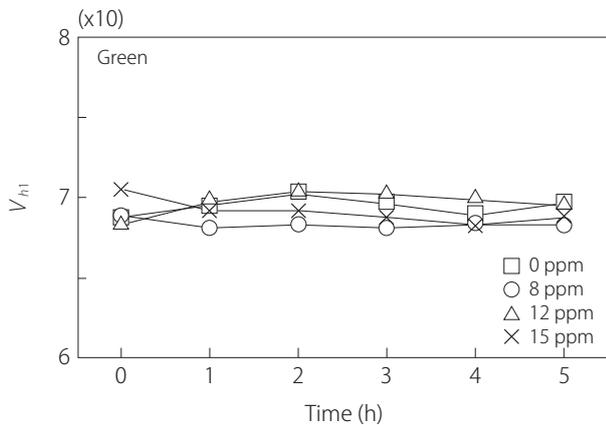


図8：緑色光照射時の生体電位 v_{h1} 特性

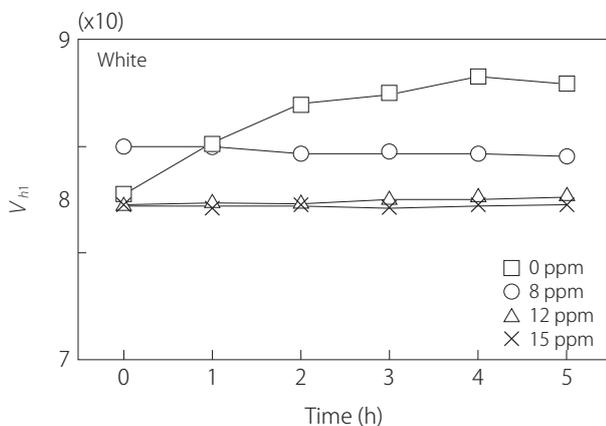


図9：白色光照射時の生体電位 v_{h1} 特性

3.4 照射光点滅による特性差

照射光をミリ秒やマイクロ秒オーダーで点滅させることにより植物に様々な影響を与えることが報告されている (Ando et al., 2014; Hasegawa et al., 2014)。植物が明と暗状態により生理機能が影響を受けることが類推できる。本研究においては、昼白色光の照射状態から消灯することにより生体電位 (v_{h1}) が変化するかどうかを調べた。これは、図5より、昼白色光下におけるエチルアルコール吸収効果 (浄化効果、 Pa) が高いことも考慮し、光照射の点滅時に生体電位変化が変化する可能性があるためである。濃度が高い場合に生体電位 v_{h1} 値が高くはならないことが図9で示された。

エチルアルコールを注入しない時のon-offに対する v_{h1} 特性を図10に示す。実験開始時から昼白色光を照射 (on状態) し22時に照射を止め暗黒下 (off状態) としたものである。on-off前後の3プロットの平均値 (Ave) が69.754 Vから69.205 Vに僅かに減少した。実験開始時のデータを省いて平均を求めたのは、実験セット時には外乱がある恐れがあるためである。Off状態時に幾らか植物生理活動が減少することが考えられる。18時にエチルアルコールを8 ppmになるように注入した時の v_{h1} 特性を図11に示す。22時の消灯後に v_{h1} の平均値 (Ave) が図10と同様に減少している。照射光のon-offに対する v_{h1} の平均値の相関図を図12に示す。相関係数として $\gamma = 0.98$ が得られており、ほとんど差異がないといえる。しかしながら、光がoff時には v_{h1} 値が減少する傾向があることは明らかである。光のon-offに対する植物生体電位の変化を高感度で検知することにより、光照射状態を把握することができる可能性

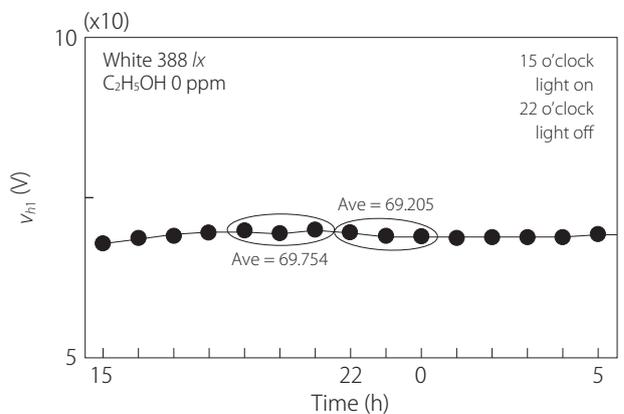


図10：白色光照射時と off時の生体電位 v_{h1} 特性

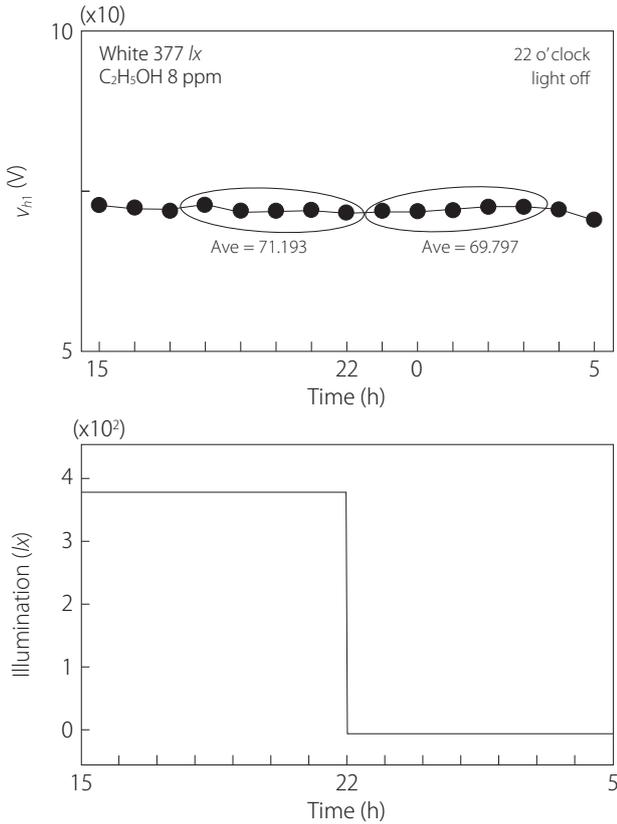


図 11：エチルアルコール雰囲気中 (8 ppm) の白色光照射時と off 時の生体電位 V_{h1} 特性

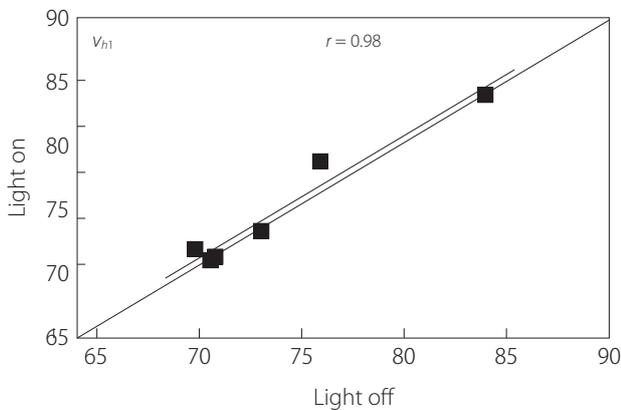


図 12：白色光照射時と off 時の平均生体電位 V_{h1} の相関図

がある。

4. まとめ

植物は人間にとって身近な生物であるが、その多くの生理機能が明らかになっていないといえる。地球環境の変化や人口問題を解決するため、植物機能を明らかにし利用する必要がある。そのためには、植物自身が発する情報である生体電位を応用することは有効であると考えられる。生体電位測定システムも検討していく必要があるが、多くの手法でデータを取集し適切な判断を行う手法も重要である。

本研究においては、単位時間内の生体電位の総和値を用

いて解析を行った。これは時々刻々変化する生体電位特性よりも、ある時間スパンの統合地により解析を行うことにより特徴抽出が行いやすいと判断したためである。比較対照実験として暗黒下で化学物質を注入しない時の生体電位特性を採用した。結果として、エチルアルコールを注入した時の暗黒下においては、時間経過とともに生体電位特性 (V_{h1}) が増加することが明らかとなった。また、浄化能力 (P_a) は、照射光周波数が高いほど、また、混合光ほど大きくなることが分かった。緑色光照射時には、時間経過や注入エチルアルコール濃度による変動幅がほとんどなく暗黒下の特性と同程度であることが判明した。照射光を on 状態から off 状態に変えることにより V_{h1} の平均値が小さくなる。エチルアルコールを注入した場合もしない場合も同様の結果が得られた。ホルムアルデヒドの実験では照射光による P_a の差異は殆どない。

今後は、高精度な生体電位測定システムを構築し植物生理作用を明らかにしていく予定である。生体電位は多くの情報を含んでいると考えられるため、それを識別するソフトウェアも検討する必要がある。

引用文献

- Ando, K., Hasegawa, Y., Uchida, H., and Kanasugi, A. (2014). Analysis of plant bioelectric potential response to illumination by curve fitting. *Sensors and Materials*, Vol. 26, No. 8, 471-482.
- Hasegawa, Y., Yamanaka, G., Ando, K., and Uchida, H. (2014). Ambient temperature effects on evaluating plant activity by using bioelectric potential of plant. *Sensors and Materials*, Vol. 26, No. 8, 461-470.
- Kang, B., Shibata, S., Sawada, A., Oyabu, T., and Kimura, H. (2009). Air purification capability of potted phoenix roebelenii and its installation effect in indoor space. *Sensors and Materials*, Vol. 21, No. 8, 445-455.
- Shibata, S., Oyabu, T., and Kimura, H. (2010). Bioelectric potential of pothos under light-emitting diode. *Sensors and Materials*, Vol. 22, No. 5, 223-233.
- 大藪多可志・梶原祐輔・河内雅典・木村春彦 (2015). LED 光下におけるナスの生体電位とエチルアルコール浄化能力. *科学・技術研究*, Vol. 4, No. 1, 65-70.
- Sawada, A., Oyabu, T., Chen, L., Hirai, N., and Izui, K. (2007). Purification capability of tobacco transformed with enzymes from a methylotrophic bacterium for formaldehyde. *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 9, No. 6, 487-496.
- Sawada, A. and Oyabu, T. (2008). Purification characteristics of pothos for airborne chemicals in growing conditions and its evaluation. *Atmospheric Environment*, Vol. 42, No. 3, 594-602.
- Sawada, A. and Oyabu, T. (2010). Healing effects of foliage plants using physiological and psychological characteristics. *Sensors and Materials*, Vol. 22, No. 7, 387-396.
- Tokuda, M., Shao, L., Oyabu, T., and Nanto, H. (2012). Plant bioelectric potential of hard-leaf cabbage to irradiation-light

frequency. *IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines*,
Vol. 132, No. 6, 143-148.

(受稿：2016年3月16日 受理：2016年4月1日)