

二重電極による植物表面電位計測

鹿野 快男・長谷部信也・大政 謙次*

東京農工大学工学部・* 国立公害研究所

Measurement of Electric Potential of Living Plant
by Double Layer Electrodes

Yoshio KANO, Shinya HASEBE and Kenji OMASA*

*Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology: Koganei 184, Japan***The National Institute for Environmental Studies; Yatabe-cho, Tsubuka 305, Japan*

It is important to measure electric potential on a surface of plant for analyzing plant physiology or growth of plant. There are many reports that measure electric potential of a plant inserting fine needle electrodes into a plant.

New method to measure electric potential on a surface is developed using the new type electrode system without any disturbing or destroying a plant. This electrode system is constructed by two electrodes and two insulations. When the known AC voltage is given to the electrode 1 of the double layer electrode and the electrode 2 is attached to the surface of a plant beyond the insulating film, the DC voltage and the AC voltage are induced on the electrode 2 according to the potential on the surface of a plant and the AC voltage on the electrode 1. The electric circuit is developed to calculate automatically the potential on the surface of plant from the voltages induced on the electrode 2. As the application of this system, the potential distribution on the surface of a cucumber is measured. The high potential on the surface of the cucumber shows the vivid and rich nourishing part in it.

(Received February 22, 1988)

1988年2月22日受付

電位測定原理

緒 言

植物電気の測定は植物生理の解明、酸性雨などの外部からの損傷による植物生理現象変化の解明に有効である。また、グリーンハウス内での環境管理のための制御信号として有用であると考えられる。さらに農作物の収穫適期決定、収穫後の等級選別、品質管理等の監視のための信号としても有効と考えられるが、現在のところ決定的な評価方法は確立していない。

本研究の目的は、植物生体をはじめとする高内部抵抗を持つ電圧源を対象とした、植物表面電位の非浸潤計測法を提案し、かつ、これの植物生理現象の変化、および、植物の鮮度評価の可能性を考察することにある。

従来の方法を列挙すると、1) 不分極電極の接触または刺入と高入力抵抗増幅器の組合せによる測定。2) 金属またはガラス微小電極と高入力抵抗増幅器の組合せによる測定。(これらの電極を使用した測定法は実績があり、データも豊富である。)¹⁻³⁾ 3) 静電誘導形電極法と高入力抵抗増幅器の組合せによる測定。(セクタ法、ケルビン法などこれらの方法は機械的の可動部分を要する、電極形状に制約を受ける等の欠点がある。)⁴⁻⁶⁾

本論文の静電誘導形電位差計測法(直流式)の原理をFig. 1に示す^{7,8)}。電極1には第1式に示すように、被測定表面電位 E を容量 C_1 , C_2 で分圧した直流電圧 E_1 が発生する。

$$E_1 = E \cdot C_1 / (C_1 + C_2) \quad (1)$$

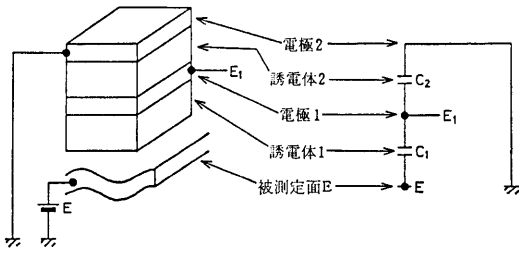


Fig. 1 Fundamental shape of the double layer electrodes.

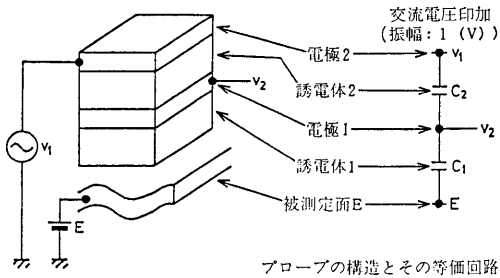


Fig. 2 Voltages on each points of the double layer electrodes.

第1式より、係数 $C_1/(C_1+C_2)$ の値を知ることより、被測定電位 E_1 の値が求められることがわかるが、 C_1 、 C_2 の値は電極構造などにより一義的に決定不能であるので、係数値は知りえず、近似もしくは既知なる電位測定による校正等を行わなければならない。そこで Fig. 1 において、電極2は接地していたが、Fig. 2 に示すように、ここに交流電圧 V_1 を印加する。この状態で、電極1には第2式に示す、直流電圧を重畳した交流電圧 V_2 が発生する。

$$V_2 = E_1 + V_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2) \quad (2)$$

また、被測定電位 E の係数 $C_1/(C_1+C_2)$ と交流印加電

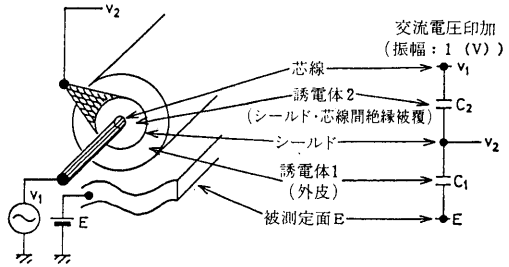


Fig. 4 Capacitances and voltages on each points of the double layer electrodes using shield wire.

圧 V_1 の係数 $C_2/(C_1+C_2)$ の間には第3式に示す関係が成立する。

$$C_1/(C_1+C_2) = 1 - C_2/(C_1+C_2) \quad (3)$$

よって、 V_1 の振幅を 1(V) にすることより、 V_2 の振幅値より $C_1/(C_1+C_2)$ の値が得られ、第3式に示す減算処理、 V_2 中の直流分の分離の実行後、電気回路による自動的割算処理にて、被測定電位 E の値が求められる (Fig. 3 参照)。

このことは、 C_1 、 C_2 の値を具体的に求める必要がないことを意味し、また、上記の展開には電極1、誘電体1、電極2、誘電体2より構成されるプローブの形状を規定する内容は何ら含まれていないため、測定対象に応じたさまざまなプローブを考案可能である。本研究では測定対象にキュウリを選び、その電位分布を測定して鮮度評価をすることを目標としたので、巻き付けによる測定を考慮し、プローブをシールド線とした。Fig. 4 に、シールド線の構造とその等価回路を示す。

測定結果

まず、装置自体の入出力特性を Fig. 5 に示す。この結果より、装置の最大許容入力十分大きく、直線性も優秀であり、一般に微小であるとされる生物電気が非混

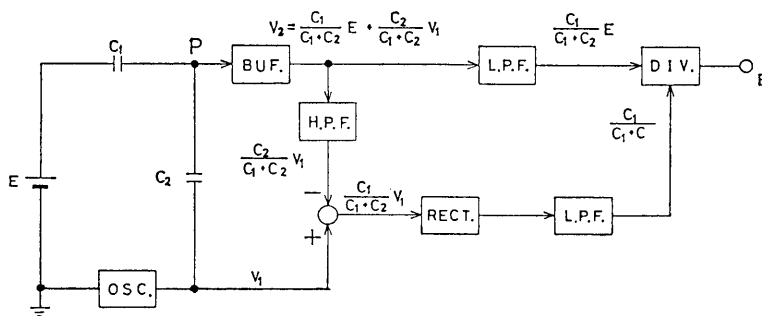


Fig. 3 Block diagram of electric potential meter with the double layer electrodes.

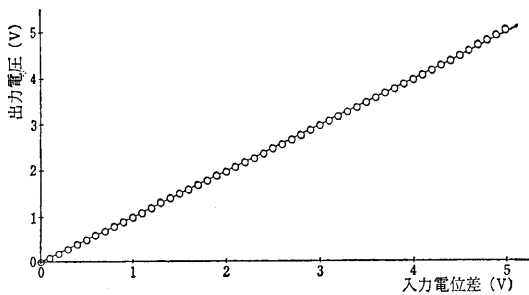


Fig. 5 Characteristic of input vs output voltages.

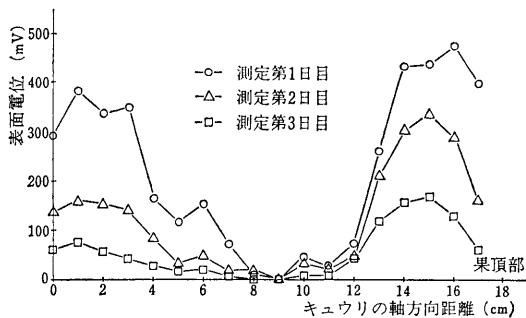


Fig. 6 Distribution of electric potential on a cucumber.

潤で測定可能であることがわかる。

一つの応用例として、前記シールド線をキュウリに一回巻き付け測定した、軸方向距離に対する表面電位分布を Fig. 6 に示す。右端はキュウリの果頂部(結花側)、左端が果梗部(茎側)である。これより、相対的表面電位分布は、果頂部付近の最太部での値を最大とし、果梗部への移動に従ってその値を減少、中央部にて最低値をとるが、通過後は再度、表面電位は上昇し、果梗部付近の太部で極点を迎えることがわかる。また、今回のキュウリの保存方法は室温放置であるが、Fig. 6 より、時間の経過に伴ってキュウリ全体の相対的表面電位の値は低下することが明らかである。

考 察

既に測定原理のところで述べたように、電極間容量に分圧される電位を測定し、静電容量係数を交流電圧より求め、演算処理により自動的に目的の電位を得る方法を提案し、それが可能であることを示した。植物表面からみた測定器の入力インピーダンスは、電極面積および誘電体(絶縁物)の抵抗値により異なる。ビニル系樹脂シールド線(外径 1.5 mm, 外部絶縁体厚 0.5 mm, 内部絶

縁体外径 0.49 mm, 7 芯芯線外径 0.19 mm) を使用した場合、キュウリの直径を 4 cm としたとき、絶縁体の比抵抗は少ないものでも $10^{16} \Omega \text{m}$ 程度であるから、キュウリ表面と C_1 の電極間絶縁抵抗は約 $2.37 \times 10^{17} \Omega$ である。シールド線と芯線間の C_2 電極間絶縁抵抗は約 $1.64 \times 10^{17} \Omega$ であり、本測定器のような電極構造の全抵抗値は、少なく見積っても $10^{16} \Omega$ 以上あると考えられる。

植物表面電位は、根元的には細胞膜のイオン能動輸送による細胞膜電位に起因すると考えられるが、内部細胞と表面電位の関係は未だ未知の現象であるので、ここでは定性的な、簡単な考察にとどめる。植物を採取した後にはまだ生存しており、呼吸基質(炭水化物等)は分解・消費され、呼吸、水分の移動、蒸発、部分的な生長が行われている。また、貯蔵物質が多く、かつ生体活性の高い部分は新鮮であると考えられる。上記二項より、植物表面電位の高い部位では貯蔵物質を多量に含有し、かつ生体活性も高いと考えられ、表面電位の値の大小で客観的鮮度評価できる可能性があると考えられる。また、今回のキュウリは室温放置保存であるが、この変化の程度は収穫後のキュウリの保蔵方法に関与し、キュウリの劣化が時間の経過とともに進行すると考えられる。表面電位の経時低下は、貯蔵物質の分解もしくは細胞の死滅を意味し、これより表面電位低下が微小である貯蔵方法が優れた品質管理方法と評価可能であると考えられる。

結 論

(1) 従来のセクタ法などと異なる電位計測法を提案し、これにより植物表面電位を非浸潤計測することに成功した。電極は Fig. 2 に示す構成を満足すればよく、測定対象に制約を与えないため、本原理を利用した今後の応用・展開が期待され、本原理は電気工学的にも意味があると考えられる。

(2) 植物表面電位は、定性的には貯蔵物質を多量に含有し、かつ生体活性(鮮度)が高いところの電位が高いと見られ、これにより鮮度評価が可能であることの端緒が得られた。

最後に本研究を実行するに当たり協力いただいた、本学大学院卒業生山田和朗君に謝意を表す。

文 献

- 1) 岩瀬善彦・玉重三男・古河太郎. 1975. 植物の生物電気. 「生物電気」449-479, 南江堂, 東京.
- 2) 三輪敬之・楠橋康博・町田浩章. 1987. カボックの葉表面における生体電位変化について. 生物環境調

節 25: 123-125.

- 3) 岡本 尚・岸本卯一郎・柴岡孝雄・千田 貢・田沢仁. 1983. 高等植物. 「植物電気生理研究法」189-248, 学会出版センター, 東京.
- 4) 内藤正編集. 1976. 電位計. 「工業計測法ハンドブック」195-196, 朝倉書店, 東京.
- 5) 山内二郎監修. 1977. 電位計および検電気. 「電気計測便覧」295-298, オーム社, 東京.
- 6) 片岡照栄・柴田幸男・高橋 清・山崎弘郎. 1986. 電圧・電界センサ. 「センサハンドブック」288-291, 培風館, 東京.
- 7) 山田和朗・鹿野快男・長谷部信也・遠藤謙二. 1984. 機械的振動を伴わない容量形電位計測法. 31 応用物理学関係連合講演会, 31p-G-10.
- 8) 鹿野快男・山田和朗・長谷部信也. 1985. 静電誘導型電極法による植物電位計測と新鮮度の評価. 電気学会全国大会 No. 1481.