



作物とヒトとのインターフェース

農業センシングの世界

その37…導電率で測る培養液の濃度

星 岳彦

溶液栽培現場でよく使われる導電率

● 養液栽培では植物栄養（肥料）の管理が大切

植物の必須元素を、ほど良い割合で全て含むように各種の塩を水に溶かしたものが、養液栽培に用いる培養液です。植物の成長につれ、培養液の濃度は低下していきます。追肥したり、培養液を交換したりするタイミングを知るためには、培養液の無機イオン濃度（組成）をセンシングする必要があります。

試験研究機関なら、イオン・クロマトグラフィや原子吸光、ICP発光分光などの分析装置を使えますが、民間の農家では高価で難しいです。これらに代わり、培養液の濃度の目安として養液栽培現場でよく使用されるのが、導電率（EC：Electric Conductivity）です。

● 導電率（EC）とは何か

豆電球と電池をつなぎ、スイッチ部の電極をコップの水に入れても豆電球は点灯しません。しかし、水に食塩を溶かしていくと、やがて点灯します。これは、溶けた食塩がイオン化し、電荷を持つイオンが電極間を移動して電流が流れるからです。電流の通りやすさを示す値が電導度（コンダクタンス）で、単位は電気抵抗値の逆数のジーメンズ（ $S = \Omega^{-1}$ ）です。面積 $1m^2$ の電極2枚を $1m$ 離し、 $25^\circ C$ の液体に浸漬したときの電導度が、 $EC (S m^{-1})$ と定義されます（図1）。培養液のECをセンシングすれば、濃度の目安が分かります。養液栽培の分野では、 $1/10$ 単位 [$dS m^{-1}$ （デシジーメンズ・パー・メータ）= $mS cm^{-1}$] が使用されます。標準濃度培養液のECが約 $2.4 dS m^{-1}$ になります。

● テスタで測っても導電率は求められない

抵抗測定レンジにしたテスタ計測値の逆数で培養液ECを求められると思うかもしれませんが、しかし、計測に直流電圧を使うと電極に分極が発生し、時間とともに抵抗計測値が変化してしまいます（図2）。そこで分極抑制のため、 $50Hz \sim 2kHz$ 程度の交流電圧を印加して交流抵抗（インピーダンス）を計測します。さらに、

電極表面の静電特性を良くするために白金黒をメッキし、電圧印加電極と電導度計測電極を別にした4電極法で行うのが本格的です。しかし、センサが高価になってしまいます。

ECメータの自作法

● まともに計測できるECメータは高価

ステンレスや炭素製の簡易な2電極を用いたECメータが一般用に市販されます。今では、温度補償センサやセル定数設定機能も省略した $1,000$ 円程度の廉価ECメータが通販サイトで販売されています。実際に数台購入して試しました。しかし、機器のバラツキが大きく、較正もできないので、実質的に1桁程度しか信頼できず、ほぼ使えません。養液栽培で使える有効数字を $2 \sim 3$ 桁とれる性能のECメータは安いものでも $10,000$ 円以上します。計測信号出力付き品はさらに高価です。

● ArduinoでECメータを作ってみよう

そこで、研究で使用した実績があるArduinoによるECメータの製作法を紹介します。この方法によるECメータは、養液栽培で十分使用できる性能を持っています（図3）。Arduinoは直流電圧しか計測できませんが、デジタル出力を $1/1000s$ 単位で制御して、疑似的な交流を作り出し、安定したEC計測を可能にしています。

● 回路と計測アルゴリズム

回路図を図4に示します。負荷抵抗 R_1 を介してEC計測電極にArduino UNOのデジタル出力を接続します。電導度は電極間電圧に反比例するので、負荷抵抗は計測対象の導電率変化範囲で電圧変化がより大きくなる値にすると精度が良いです。 $40mm$ 離れた $M4 \times 30$ のステンレス鍋ねじを電極にしたイチゴの $1/3$ 濃度培養液（ $EC = 1dS m^{-1}$ ）程度の計測には、 $3.3k\Omega$ が良かったです。もっと高濃度の培養液を中心に使用するなら、 $1 \sim 2k\Omega$ 程度に小さくした方がよいと思います。計測のため、EC計測電極と、温度補償のためサー

◆引用文献◆

(1) 星 岳彦：農業情報研究, 30 (3) : 121-130, 2021年.