

研 究

重量計測による水耕植物の根の生長の連続モニタリング

野菜・茶業試験場 久留米支場
栽培生理研究室 高市 益 行

1. はじめに

近年、画像処理が容易に利用できるようになり、適切な根箱を作製すれば、根の空間分布や分岐、形態の経時変化など、非常に多くの知見が得られるようになった。しかし、この手法を用いても、植物の根全体の生長状態を連続的に観察あるいは測定することは困難である。ここでは、重量計測によって、水耕栽培した植物の根の体積生長をほぼ連続的にモニタリングできる装置を作製した。測定原理は単純で、栽培ポットの培養液を一定時間ごとに排水・給水し、根の受ける浮力を測定するものである。トマトの幼植物体を用いて、培養液の温度や濃度を变化させて根の生長反応を調べたところ、興味ある根の挙動が捉えられたので簡単に紹介する。

2. 重量測定による根の体積の測定方法

数週間にわたって植物体の生体重、根の体積を連続的に測定できる装置を作製した(図1)。本装置は、1個の栽培ポットと2台の電子天秤からなる。支柱、植物支持枠、根域制限内筒は一体となっており、植物体をポットに触れずに水中に支持した状態で電子天秤1で測定する。電子天秤2は、ポットの液量を測定する。培養液を電磁弁で排水すると、植物体が空气中に宙づりに支えられる状態になり、生体重が算出できる。その後一定水位まで給水すると、その時の天秤1の指示値は、根の体積相当の浮力により軽くなるので、根の体積がわかる。電磁弁はパソコンに装着したリレーボードでの開閉させ、電子天秤の出力はRS232Cマルチプレクサを用いてパソコンに収録した。

生体重と根の体積データだけがほしいのなら、電子天秤は1台のシステムでも測定可能であるが、今回は蒸散速度のデータも必要であったため、2台の天秤を用いたシステムを組み立てた。天秤2は、排水後に再び吸水するときの水位計の役割を果たしている。

この装置により、蒸散速度(2台の天秤支持値の合計の変化)、生体重(排水時の天秤1の支持値から算出)、吸水速度(蒸散速度と生体重変化の和)、根の体積(排水時と満水時の天秤1の支持値の差)などの情報が得られる。

使用した電子天秤は、秤量スパンが4,000g、分解能が0.01gのものである。生体重や根の体積の測定誤差の要因としては、電子天秤の精度(温度ドリフト)、内筒につけた透水性資材の含水量変化、根の周囲の表面張力の影響などが考えられる。培養液の濃度による浮力の変化は無視できるオーダーである。この装置は、排水用电磁弁のコードや水温測定用の熱電対コードがポットから周囲につながって完全に独立していない。この誤差や内筒資材の含水量変化による誤差を、植物体を載せない状態で測定したところ、±0.5cm³程

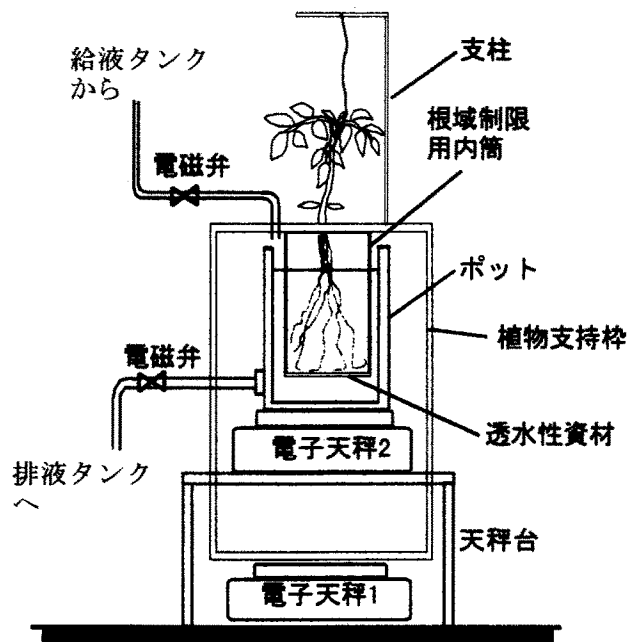


図1 水耕植物の生体重および根の体積の測定装置

E-mail: mtaka@nivot-krm.affrc.go.jp

(本報告のデータは、前所属の野菜・茶業試験場施設生産部において得られたものである)

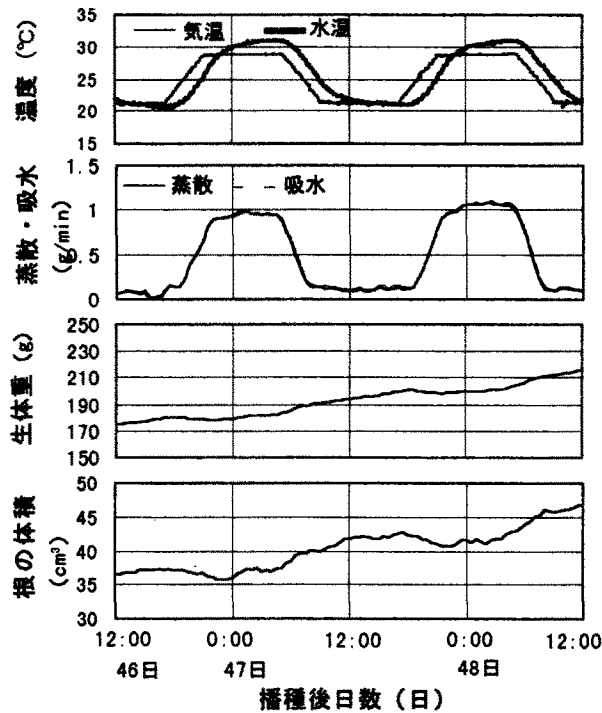


図2 気温・水温と、トマトの蒸散・吸水速度、生体重、根の体積の日変化

注) グロースチャンバーの明期・暗期は屋外とは逆で、
明期は19:00-7:00、暗期は7:00-19:00である。

度の範囲であった。

給排水時の水の流れはなめらかで、内筒の中の根の配置はほとんど崩れなかった。

3. トマト幼植物の生体重・根の体積の日変化の基本パターン

この装置では、一回の排水開始から重量測定して再び満水にするまで、約10分を要する（根全体が空中に露出する時間は約2分）。30分ごとに排水・給水を繰り返して、トマトは通常に生育し、生体重や根の体積などのほぼ連続的な生長データが得られた。

この装置をグロースチャンバー内に設置し、最大照度28,000 lx、気温（昼/夜）：28/22℃、相対湿度：60%の条件でトマトを栽培し、生体重や根の体積の日変化の特徴を調べた（図2）。蒸散速度と吸水速度はほとんど同じ変化パターンを示すので、ほとんどの時刻について両者は重なっている。生体重は明期（昼間）に一時的に増加が小さくなり、明期の終わりの気温の低下に伴って大きく増加し、暗期の間増加を続けた。

根の体積の日変化をみると、明期のはじめには一時的に減少し、明期の終わりから暗期に増加するという日変化パターンを示した。根の長さが日変化するとは考えにくいので、根の体積変化は主として根の直径が変化したものと考えられる。茎の直径は昼間の体内水分の減少に伴って日変化することがよく知られている。そこで、本装置にレーザー変位計を設置してトマトの胚軸径を測定したところ、茎径の変化は根の体積の変化とよく対応していた（図には示していない）。根の体積の日変化の振幅は、定植時に根をさわって痛めた直後には大きかったが、順調に生育している時には小さかった。図2の例では生体重や根の体積に日変化が認められるが、一般に生体重の日変化の振幅は小さく、本装置では測定誤差にまぎれて不明瞭な場合も多かった。

4. 培養液の温度変化に対する生体重・根の体積の反応

図3に、31/22℃（明期/暗期）で推移していた培養液の温度を40℃以上に急変させた場合の応答を示す。高温処理を開始した翌日ではまだ蒸散や吸収がかなり見られたが、それ以後非常に小さくなった。処理後、明期における生体重の低下が著しくなり、日変化の振幅が大きくなった。根の体積については、処

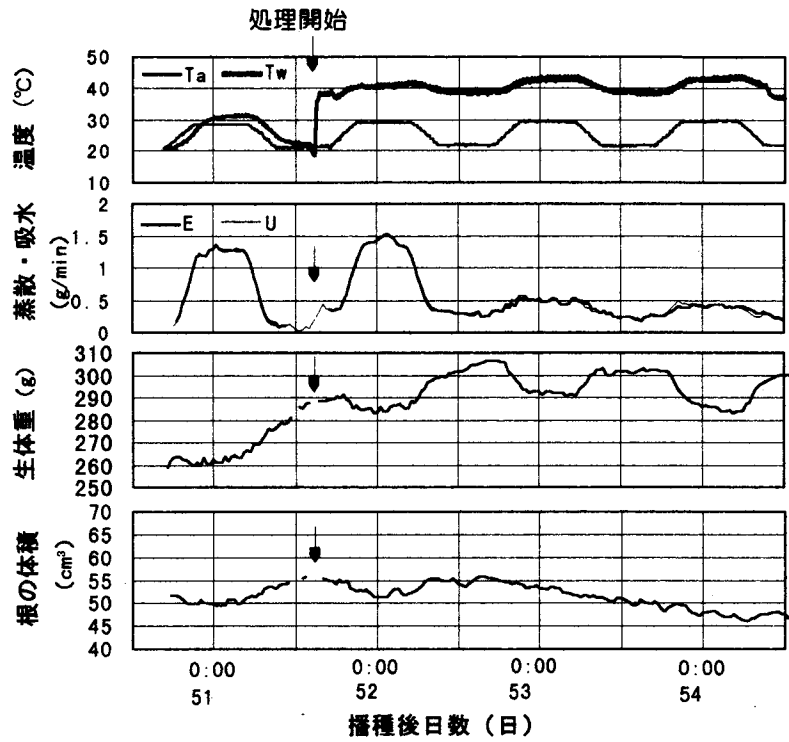


図3 培養液温度の高温処理に伴うトマトの蒸散・吸水速度、生体重、根の体積の変化

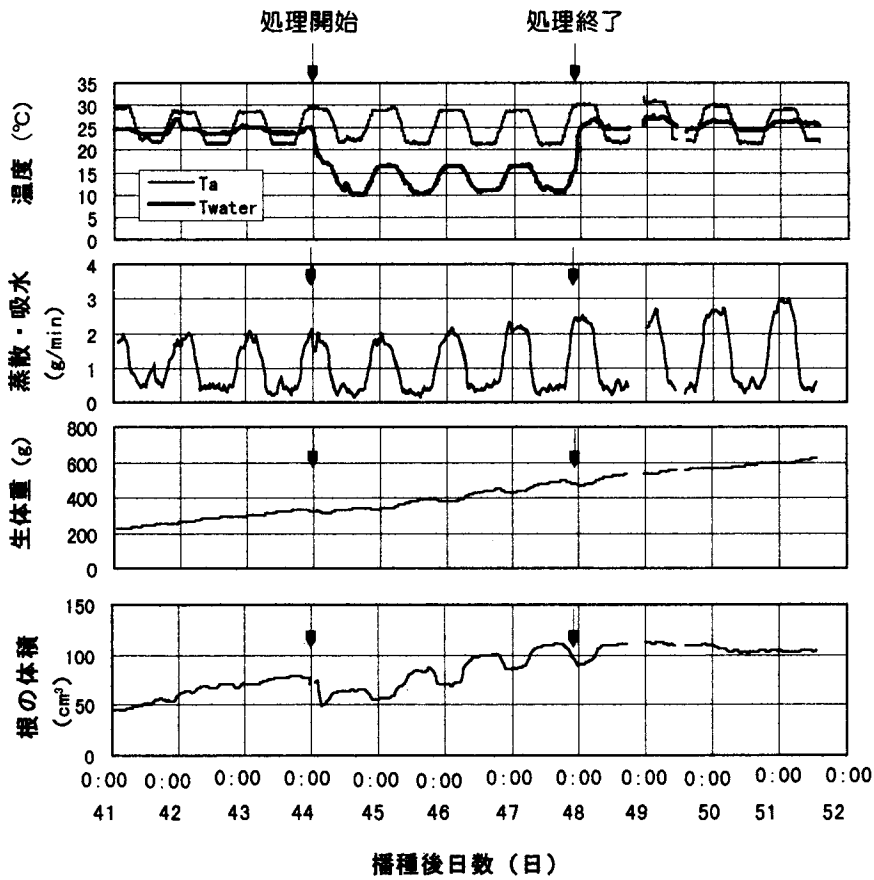


図4 培養液温度の低温処理に伴うトマトの蒸散・吸水速度、生体重、根の体積の変化

翌日には昼間に減少した後、夜間にすこし回復したが、以後は日変化の振幅がなくなり、減少の一途をたどっていった。この高温処理は根にとって厳しいもので、水中の根はすべて褐変枯死した。しかし、水面と空気との境界に多数の新根を出し、水中には根を入れず、先が水面にわずかに触れる状態のまま、地上部は再び生長していった。本装置は水面上の根の生長を測定できないので、この例のような空中の不定根の発生は全く捉えられない。

図4は、培養液の温度を低温にした場合の、トマトの生長の変化である。冷却器の能力が不足していたために明期と暗期の水温を一定に保てず、夜間は約10℃、昼間は約17℃で推移した。低温処理する前では生体重の日変化が小さかったが、処理によって振幅が大きくなった。処理後に通常温度に戻すと振幅は小さくなり、処理以前のレベルに戻った。根の体積は、低温処理により吸水機能が低下したため、日変化の振幅が非常に大きくなった。処理後にもとの液温に戻すと、この振幅はすぐに処理以前のレベルに戻ったが、その後の増加は一時的に抑制された。

以上の培養液の高温・低温処理のほかに、この装置で培養液の高濃度処理、根の切除からの回復過程などのデータが得られたが、ここでは省略する。

5. まとめ

以上のように、重量計測によって、水耕植物の根の体積について、ほぼ連続的なデータが得られることがわかった。根の体積には日変化がみられ、その振幅は植物体の水ストレスの増大に伴って大きくなる。この結果から、たとえば、水ストレス条件下で栽培した植物の根を測定する場合に、土や培地を水で洗い流してから観察するならば、実際に機能している根とは異なった、膨張した状態の根を観察していることに留意する必要がある。

この重量計測による生体重や根の体積の測定方法は、根の生長の日変化を比較的長期間にわたって測定できる。根詰まりを起こすまで測定可能であるので、用いたポットの大きさで決まる。根の生長の連続データは、環境変化に対する植物の適応過程や、地上部/地下部の生長バランスなどの解析に有効であると考えられる。

おわりに

根の機能を考えるとき、もっとも重要であるのは、根の形態や長さあるいは表面積の情報であろう。根箱による画像計測では、形態について詳細な情報が得られるが、不自然な根系分布を強要したり、得られる断面が根全体の一部でしかないという欠点もある。ここで扱った根の体積は、根の生体重と密接に関係している。これらは根を全体として扱う指標であるので、結果の解釈が困難なことも多く、解析できる現象も限られている。しかし、本手法は根の動的な挙動が得られるので、詳細な研究のための基本的な特性把握に利用可能と考えている。

なお、根の生長を対象とした研究ではないが、以下に本研究の端緒となったVan Ieperen, W.らの重量計測による蒸散・生体重の解析に関する文献を挙げた。

参 考 文 献

- Van Ieperen, W. and Madert, H., 1994: A new method to measure plant water uptake and transpiration simultaneously, *Journal of Experimental Botany*, **45**, 51-60.
- Van Ieperen, W., 1996: Dynamic effects of changes in electric conductivity on transpiration and growth of greenhouse-grown tomato plants, *Journal of Horticultural Science*, **71**, 481-496.
- TAKAICHI, M., H. SHIMAJI and T. HIGASHIDE, 1996: Monitoring of the change in fresh weight of plants grown in water culture, *Acta Horticulturae*, **440**, 413-418.