

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19510015

研究課題名 (和文) 電気化学的手法による植物塩ストレス計測システム

研究課題名 (英文) Plant stress measurement system using electrochemical method

研究代表者 佐々木 聡

(SASAKI SATOSHI)

東京工科大学・応用生物学部・准教授

研究者番号：70262110

研究成果の概要 (和文)：植物に取り付けた電極間の電気伝導度やインピーダンスの変化は、植物体内の含水量を反映することが明らかとなった。また、微小温湿度センサーを用いることにより、植物の蒸散量の評価が可能であることが示された。

研究成果の概要 (英文)：Impedance measured using electrodes inserted into the plant was proved to be related to the water ratio inside the plant. Miniature temperature/humidity sensors were also proved to be useful for the evaluation of transpiration rate.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：植物、塩ストレス、電気化学

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や塩害によって植物が受ける水ストレスを評価する指標として、植物の含水率や蒸散速度があげられる。植物が生育する環境に十分な水がなかったり、あるいは、塩濃度が高い水に囲まれたりすると、植物体内の水はより水が少ない(水ポテンシャルが低い)植物体外へ拡散していくと考えられる。植物体内の水が減少すると、植物が正常な形状を維持できなくなり、萎れたり倒壊したりする。また、細胞内の水分が減少することにより細胞内イオン濃度が上昇し、細胞内の正

常な化学反応の進行が妨げられたりする。このように、植物体内の水の量や植物が外部とやり取りする水の量を評価することにより、植物自体の生育が正常に進んでいるかどうかを推し量ることができるとともに、植物を取り囲む水環境についての知見を得ることも可能であると考えられる。植物体内の水の量は含水率として評価可能である。また、植物が外部とやり取りする水の量は、蒸散量として評価が可能である。前者は対象となる植物体の湿重量と乾燥重量とを測定することによって測定される。実際に植物の生育状況

を評価するためには、可能な限り植物に対する侵襲の度合いが低いことが望まれる。研究代表者はこれまで、植物に微小電極を挿入して測定された電極間のインピーダンスと、植物の含水率との間に相関がある可能性を示してきた。フィールドで駆動が可能な測定器を用い、侵襲性の低い微小電極を挿入した植物を対象としたインピーダンス測定を行い、含水率とインピーダンス値との相関が得られるかどうかを明らかにすることは、従って意義があると考えられる。一方、蒸散量の測定には、植物に与えた熱パルスに伴う高温部分の移動速度を評価する方法が用いられている。現在この方法を採用したフィールド用装置が市販されているが、センサーを植物に装着する操作に時間を要し、また記録のためにパーソナルコンピュータを必要としている。センサーも必ずしも安価であるとは言えず、多点で同時に測定するにはより装着が簡便でセンサーがより安価なものが望まれる。

2. 研究の目的

本研究はオヒルギに代表される塩生植物が塩ストレスに対して示す電気化学的応答を調べ、測定対象となる植物に負荷を与えない新規塩ストレス評価手法を模索することを目的とした。また、超小型の温湿度センサーを用いて、フィールドにおける蒸散量の簡便な多点同時測定が可能な測定システムを構築することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 1年目においては、恒温恒湿室で生育しているオヒルギに電極を装着し、電極間インピーダンスを経時的に測定した。明・暗環境、および真水・塩水環境においてインピーダンスの違いを評価した。温度を25℃、相対湿度を75%に維持して測定を行った。

(2) 2年目においては、この方法をフィールドにおける測定に応用すべく、温湿度の変動がある環境での試験測定を行った。また、電極を挿入する方法とは異なり、微小温湿度センサーを用いるフィールド測定の可能性を検討した。

(3) 3年目においては、微小温湿度センサーを、リアクターを介して塩生植物葉裏面に張り付け、フィールド測定を行った。

4. 研究成果

(1) 電極を植物の茎に挿入した場合、植物組織のある程度破壊してしまうために、その部分の水分の分布が変化することが考えられた。この影響を調べるために、電極挿入箇所を伸縮性のフィルムで覆う実験を行った。また、電極挿入前後に挿入箇所がどのように

変化したかを調べるために、茎の断面を顕微鏡で観察した。電極を挿入してから2週間程度経過しても、インピーダンス値の変化の傾向に大きな変動はなかった。しかし、この点は、対象となる植物と用いる電極の素材、および挿入方法によって左右されるものであり、一般的な議論を行うには、より多くの実験を重ねていく必要があることが示唆された。以上、初年度においては、明環境および塩水環境において植物の含水率が低下し、そのため植物体のイオン伝導性が低下したために、より大きなインピーダンス値が得られたものと推察された。このことから、インピーダンス値を測定することで植物の含水率を推定することが出来る可能性が示唆された。

(2) 初年度の実験は温度・湿度とも制御された環境で行われた。フィールドで行われる測定においては、温度や湿度が変動し、かつ降雨の影響も想定される。雨によって植物表面がぬれると、植物の含水率と、植物表面の水との二つが、電極間インピーダンスに影響を及ぼすと考えられる。一方、蒸散量は植物内外の水の分布（気孔内部の組織の水分と葉表面の湿度の空間的な分布）に依存するため、雨や風の影響を当然受けるものと考えられる。そこで、2年目においては、雨や風の影響をすくなくする工夫を行った。電極を用いる実験においては、電極挿入箇所をはっ水性のフィルムで覆い、測定を行った。蒸散量の測定に関しては、ボタン電池型の超小型温湿度ロガー（半導体センサー型）の活用を検討した。同ロガーは、葉に装着しても組織を破壊することがないほど小型・軽量である。同ロガーを葉の裏に装着して測定を行うことにより、蒸散に伴う葉裏の湿度上昇を直接測定が可能である。蒸散量を定量するために、ロガーと葉との間にスペーサーを配置し、物質収支式から蒸散量を計算できるようにした。すなわち、

$$\begin{aligned} & (\text{蒸散のフラックス}) \times (\text{測定面積}) \\ & - (\text{スペーサー内水濃度増加速度}) \\ & \quad \times (\text{スペーサー体積}) \\ & - (\text{スペーサー内水濃度消滅速度}) \\ & \quad \times (\text{スペーサー体積}) \\ & = (\text{スペーサーからの水流出フラックス}) \\ & \quad \times (\text{排出口面積}) \end{aligned}$$

から蒸散量を計算した。「スペーサー内水濃度増加速度」は、葉に装着したロガーが記録した湿度の増加速度から計算が可能であり、「スペーサーからの水流出フラックス」は、Fickの法則を用いてスペーサー内外の湿度の差から計算して求めた。この測定法を用いて、温湿度が制御された実験室内で水栽培さ

れたオヒルギの蒸散量を評価し、従来法による測定結果と比較した。結果的には、収支式における拡散係数を適当に設定することによって、図1に示す通り従来法と相関のよい測定結果を得ることに成功した。

(3) 3年目においては、フィールドにおいて電気化学的測定およびロガーを用いる蒸散量測定を行った。フィールドにおいてインピーダンスを測定できる測定器はデータロガー機能を持たないため、自動測定の機能を持たせることが課題となった。多点同時測定を行う場合には、測定箇所と同じ数の測定器が必要となるため、回路を工夫して一台の測定器で多点の測定が可能になるようなシステムを検討する必要があることが示唆された。ロガーを用いる蒸散量測定を塩水栽培オヒルギに対して行ったところ、真水栽培オヒルギの測定結果ほど良好なものでは得られなかった。すなわち、従来法の結果と良い相関が得られなかった(図2)。塩水栽培時には、「スパーサーからの水流出フラックス」が確定できなかったという可能性が示唆された。実際にフィールドで行った蒸散量測定では、相関を得ることは非常に困難であった。このことを確かめるために、塩生植物の葉を覆うようにしてリアクターを取り付け、リアクター内の温度と湿度を一定時間計測した。葉からの蒸散量は、葉近傍の湿度に影響を受けることが明らかとなった。

(4) 以上、3年間にわたる研究の成果をまとめる。電気化学的測定を行う場合には、電極が大気中の水分の影響を受けないようにパラフィルム等で覆うことが有効であることが明らかとなった。また、植物蒸散量測定法においては、センサーの取り付け方を工夫することでよりダイナミックレンジの広い測定が可能であることが示唆された。電気伝導度やインピーダンスの変化は、植物体内の塩濃度の変化および電極挿入部分の接触抵抗の双方から影響を受けることが明らかになったため、今後後者の影響を少なくする工夫が必要であることが明らかとなった。取り付けるセンサーや電極をより小さいものにするすることで、植物の葉を取り巻く環境をより自然の状態に近づけることが可能であることも明らかとなった。

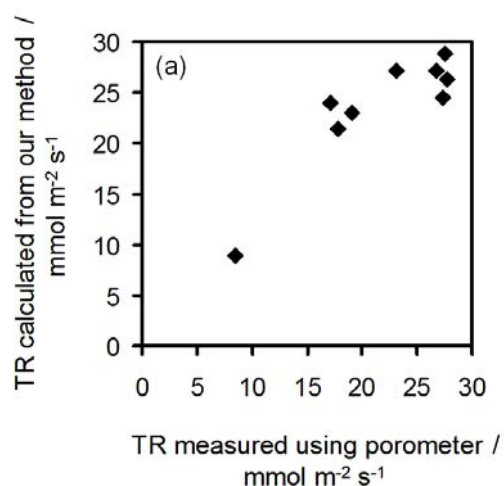


図1 従来法で測定した蒸散量(横軸)と本方法で測定した蒸散量(縦軸)との相関(真水栽培時)(Satoshi Sasaki, Tatsuya Amano, Transpiration Rate Measurement Using Miniature Temperature/humidity Sensor., Anal Sci., 2010 *accepted.*)より)。

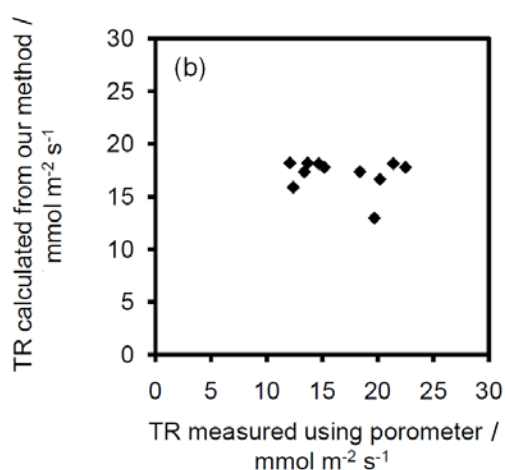


図2 従来法で測定した蒸散量(横軸)と本方法で測定した蒸散量(縦軸)との相関(塩水栽培時)(Satoshi Sasaki, Tatsuya Amano, Transpiration Rate Measurement Using Miniature Temperature/humidity Sensor., Anal Sci., 2010 *accepted.*)より)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Satoshi Sasaki, Tatsuya Amano, Transpiration Rate Measurement Using Miniature Temperature/humidity Sensor., Anal Sci., 2010 *accepted.* (査読有)

〔学会発表〕(計1件)

①天野竜也、佐々木聡、マングローブ植物の水ストレス応答評価、日本分析化学会第58年会、2009年9月24-26日、北海道大学(札幌)

〔図書〕(計1件)

①佐々木聡・雨宮隆・鴨下顕彦・露本伊佐男・中田聡, よみがえれ!科学者魂 研究はひらめきと寄り道だ 丸善(2009), 220ページ

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.teu.ac.jp/sasaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 聡 (SASAKI SATOSHI)

東京工科大学・応用生物学部・准教授

研究者番号: 70262110

(3) 連携研究者

鴨下 顕彦 (KAMOSHITA AKIHIKO)

東京大学・アジア生物資源環境研究センター

・准教授

研究者番号: 10323487