

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450358

研究課題名(和文) 模擬植物で土壌の吸引圧、ポテンシャル蒸発量、植物の水ストレスを計測する手法の開発

研究課題名(英文) Development of method for measuring suction pressure, potential evaporation and water stress with simulated plant

研究代表者

黒瀬 義孝 (KUROSE, Yoshitaka)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター 傾斜地園芸研究領域・グループ長

研究者番号：80355651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：多孔質のセラミックと透明の塩ビ管、シリコン栓で作成した模擬植物を使い、植物環境を計測する手法を開発した。模擬植物の指示値は塩ビ管内の水位低下量である。セラミック板で作成した模擬植物(葉)を空中に吊すと、ポテンシャル蒸発量が測定できた。ポラスカップで作成した模擬植物(根)を土壌に挿すと、指示値は土壌の吸引圧の指標となった。植物の近くに模擬植物(根)を挿すと、植物が受けている水分ストレスの指標となった。ポラスカップとセラミック板を組み合わせた模擬植物(根+葉)は実際の植物と同様に、葉に相当するセラミック板から水が蒸発し、それを補うために根に相当するポラスカップから土壌中の水が吸水された。

研究成果の概要(英文)：We made a simulated plant by using porous ceramics, a transparent polyvinyl chloride pipe, and a plug. The value the simulated plant indicates is a decrement amount of water in the polyvinyl chloride pipe. The quantity of potential evaporation could be measured by hanging the simulated plant(leaves) made with the ceramic porous plate in the air. It was revealed that the value indicated by the simulated plant(roots) became a suction pressure index of soil when the simulated plant(roots) made with a ceramic porous cup was placed in the bare soil. It was revealed that the value indicated by the simulated plant(roots) became a water stress index of living plants when the simulated plant(roots) was placed in the rooty soil. As in living plants, the simulated plant made by combining a ceramic porous cup and a ceramic porous plate absorbed water from the soil through a porous cup corresponding to roots to compensate the water evaporation from the porous plate corresponding to leaves.

研究分野：農学

キーワード：模擬植物 土壌の水ポテンシャル ポテンシャル蒸発量 水分ストレス

### 1. 研究開始当初の背景

作物のかん水管理において、作物が受けている水分ストレスや土壌の乾燥程度、蒸発量は、気温や降水量などの一般的な気象要素以上に重要な情報である。しかし、これらの測定にはそれぞれ専用の測定装置が必要であり、測定装置はいずれも高価である。そのため、農業生産者はこれらの要素を測定したくてもできなかった。このため、土壌の水ポテンシャル、蒸発量、植物の水分ストレスを簡単に測定できる安価な測器の開発が望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、多孔質のセラミックと透明の塩ビ管、シリコン栓で作製した模擬植物を使い、植物環境を計測する手法を開発することにある。模擬植物には根の機能のみを持たせた模擬植物(根)、葉の機能のみを持たせた模擬植物(葉)、根と葉の両方の機能を持たせた模擬植物(根+葉)がある。これらの模擬植物を使って開発する手法は、土壌の水ポテンシャルの計測手法、ポテンシャル蒸発量の計測手法、植物が受けている水分ストレスの計測手法の3つである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 土壌の水ポテンシャルの計測

土壌の水ポテンシャルの計測には模擬植物(根)を使用した(図1左)。模擬植物(根)は異径ソケット部分までを土壌に挿して測定を行う。根に相当する部分はポーラスカップ(ニッカトー製)を使用した。ポーラスカップとはテンシオメータ(一般的な土壌水分計)で使用される多孔質のセラミックである。模擬植物(根)の指示値はポーラスカップから滲出した水量であり、塩ビ管内の水位低下量から算出した。灰色低地土と黒ボク土をそれぞれ1/2000aワグネルポットに詰め、模擬植物(根)からの滲出水量と水ポテンシャルセンサー(MPS-2、DECAGON)の測定値との関係を調査した。水ポテンシャルセンサーは1つのポットに2つ設置し、それぞれポーラスカップから1cmと15cm離して測定した。土壌本来の水ポテンシャルは15cm離れたセンサーの値とした。模擬植物(根)からの滲出水量は日界を9時として測定した。また、土壌の水ポテンシャルは毎日9時に測定した。同様の試験をポットに砂を詰め、裸地状態と植物を植えた状態とで測定を行った。

大型ポットに植物を植え、土壌の水ポテンシャルが低い状態を作り、模擬植物(根)からの滲出水量と土壌の水ポテンシャルとの関係を調査した。植物として大型ポット(65L)に植えられた3年生のカンキツ(宮川早生)を使用した。ポットに詰めた土壌は灰色低地土である。模擬植物(根)のポーラスカップと水ポテンシャルセンサー(MPS-2)とは15cm以上離して設置した。測定は毎日9時に行った。

#### (2) ポテンシャル蒸発量の計測

ポテンシャル蒸発量の計測には模擬植物(葉)を使用した(図1中央)。葉に相当する部分は多孔質のセラミック板(ニッカトー製のF電解隔膜)を使用し、大きさは50mm×50mm×2mmとした。このセラミック板はポーラスカップと同じ材質で出来ている。同時に、模擬植物(根)を空中に吊して蒸発量を測定した。模擬植物(葉、根)と小型蒸発パン(直径20cm)をガラス温室と気象観測露場に設置し、小型蒸発パンの水面と模擬植物(葉、根)のセラミック部分の高さを同じにして蒸発量を測定した。温室は天窓と側窓をそれぞれ10cm程度開けていたが、温室内はほぼ無風であった。小型蒸発パンに雨が入ると蒸発量が測定できなくなるため、気象観測露場では雨の当たらない場所で測定を行った。蒸発量は日界を9時として測定を行った。模擬植物(葉、根)からの蒸発量は、蒸発した水量を蒸発面の面積で除すことにより算出した。試験では、小型蒸発パンの蒸発量をポテンシャル蒸発量とした。

#### (3) 植物が受けている水分ストレスの計測

植物が受けている水分ストレスの計測には模擬植物(根+葉)と模擬植物(根)を使用し、カンキツを対象に試験を行った。模擬植物(根+葉)を図1右に示す。カンキツが受けている水分ストレスを表す最も優れた指標は葉内最大水ポテンシャルである。そこで、カンキツ園地およびポット植えのカンキツを対象に模擬植物(根、根+葉)を設置し、1日当たり滲出水量を測定するとともに、水ポテンシャル測定装置(Model600、PMS)を用いてカンキツの葉内最大水ポテンシャルを測定した。また、カンキツは強い水分ストレスを受け続けるほど糖度が高くなる。糖度はカンキツが収穫まで受けた水分ストレスを積算した指標になると考え、カンキツの果汁蓄積期(梅雨明けから収穫まで)に模擬植物(根)から滲出した総水量と糖度との関係を調査した。試験に用いた品種は、カンキツ園地では「はれひめ」と「石地」、ポット試験では「宮川早生」である。いずれも水分ストレスを付与して糖度を上げる品種である。

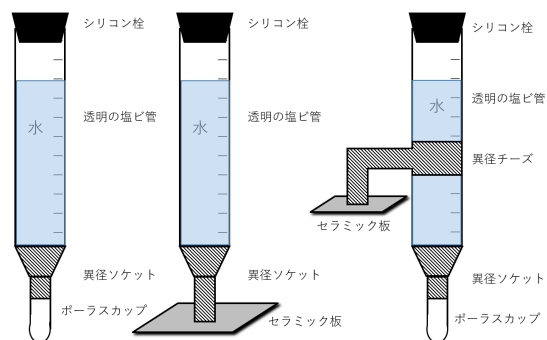


図1. 模擬植物の構造  
左から模擬植物(根)、模擬植物(葉)、模擬植物(根+葉)

#### 4. 研究成果

##### (1) 土壌の水ポテンシャルの計測

黒ボク土を詰めたポットで測定した模擬植物(根)からの滲出水量と土壌の水ポテンシャルの経日変化を図2に示す。灰色低地土でも同様の経日変化が得られた。土壌の水ポテンシャルが-50kPa (pF2.7)までは模擬植物(根)から水は滲出しなかった。すなわち、模擬植物(根)で計測できるのは土壌が pF2.7 以上に乾燥してからである。

土壌の水ポテンシャルが-50kPa から-80kPa (pF2.9)までは、ポーラスカップからの距離に関わりなく土壌の水ポテンシャルは同じであった。この範囲(-50kPa ~ -80kPa)では、模擬植物(根)からの滲出水量をもとに土壌の水ポテンシャルを算出できた。具体的には、ポーラスカップから侵入した空気(0.566cm<sup>3</sup>/日)が土壌の水ポテンシャルに釣り合うまで引き伸ばされ、その体積分の水が模擬植物(根)から滲出するとし、滲出水量から土壌の水ポテンシャルを算出する。

土壌が pF2.9 以上(-80kPa 以下)に乾燥すると、ポーラスカップからの距離によって土壌の水ポテンシャルに差が現れ始め、模擬植物(根)近傍で水ポテンシャルの低下が小さくなった。模擬植物(根)から滲出する水量は土壌の水ポテンシャル以外に、ポーラスカップ内の水と土壌中の水との連続性や、土壌中での水の拡散速度が影響し始める。このため、図3のように土壌の種類や植物の有無により、模擬植物(根)からの滲出水量と土壌の水ポテンシャルとの関係は異なった。測定対象毎に見ると、滲出水量と土壌の水ポテンシャルには高い相関関係が得られた。このため、模擬植物(根)は土壌の水ポテンシャルを絶対値では評価できないものの、相対的な指標としては使えると考えた。

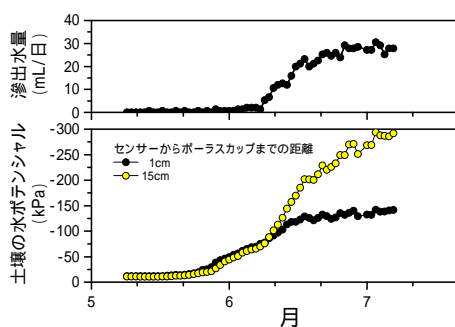


図2. 滲出水量と土壌の水ポテンシャルの経日変化

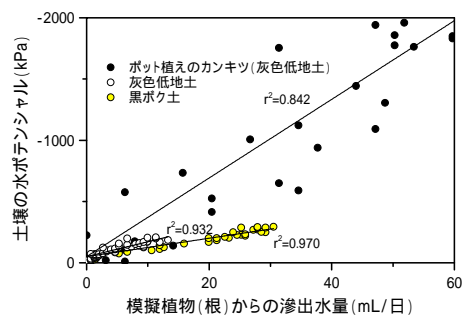


図3. 滲出水量と土壌の水ポテンシャルとの関係

砂に設置した模擬植物(根)からは水は滲出しなかったが、砂に植物を植えると模擬植物(根)から水が滲出した。植物は土壌(砂)を介さずにポーラスカップから直接吸水したことが示唆される。模擬植物(根)を植物が生えている場所に設置すると、植物からの吸引圧を加算した状態で土壌の水ポテンシャルを評価している可能性があった。

##### (2) ポテンシャル蒸発量の計測

模擬植物(葉)からの蒸発量と小型蒸発パンで測定した蒸発量(ポテンシャル蒸発量)との関係を図4、5に示す。セラミック板の両面から蒸発させると、模擬植物(葉)からの蒸発量はポテンシャル蒸発量の6~7割となり、蒸発量を過小評価した(図4)。そこで、セラミック板の上面あるいは下面にシリコンを塗り、片面からのみ蒸発させると、季節にかかわらず蒸発量はほぼ1:1の関係に近づいた(図5)。セラミック板の上面を蒸発面とすると、汚れや埃が蓄積したり、降雨が吸収されたりして蒸発量を正確に測定できない可能性があった。そこで、セラミック板の下面を蒸発面とする模擬植物(葉)を採用した。模擬植物(葉)はポテンシャル蒸発量を1割程度過大に評価している(図5)。これは蒸発面の面積が小型蒸発パン(314cm<sup>2</sup>)よりセラミック板(25cm<sup>2</sup>)の方が小さく、フェッチ効果が現れたと考えた。この点は、セラミック板を大きくするなどの改善策が考えられる。

模擬植物(根)を空中に吊して蒸発量を測定すると、蒸発量の比(模擬植物(根)/小型蒸発パン)が夏季に低く、冬季に高い季節変化を示した。蒸発量の比を季節にかかわらず一定にするには、蒸発面の形状を板状にする必要があった。

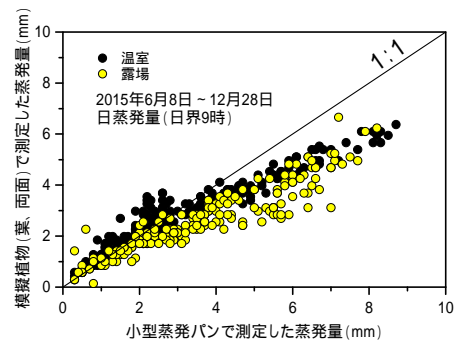


図4. 模擬植物(葉、両面)で測定した蒸発量

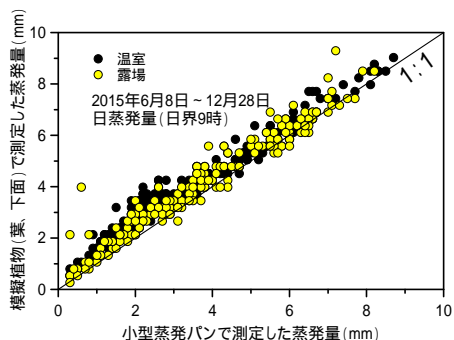


図5. 模擬植物(葉、下面)で測定した蒸発量

(3) 植物が受けている水分ストレスの計測

図6は透湿性防水シートを全面に敷いたカンキツ園地に模擬植物(根)を設置し、1日当たり滲出水量を測定するとともに、水ポテンシャル測定装置を用いてカンキツの葉内最大水ポテンシャルを測定した結果である。TDR 土壌水分計とテンシオメータで測定した土壌水分の変化も併せて示す。シートを敷設した8月中旬から土壌の乾燥が進み、その後は安定した天候が続いたため、収穫まで土壌の乾燥が継続した。葉内最大水ポテンシャルが図6の網掛けの範囲では、カンキツは過度の水分ストレスを受けることなく、増糖効果が得られることが知られている。図6の網掛けの範囲で指示値が大きく変化する測器があれば、カンキツの水分ストレスの把握に役立つと考えられる。図6より、カンキツ樹は9月中旬に増糖効果のある適度な水分ストレスを受け始めた。この時の各種土壌水分計の測定値を見ると、テンシオメータは測定限界に達して指示値が変化しなくなり、TDR土壌水分計も9月中旬から測定値がほとんど変化しなくなった。一方、模擬植物(根)からの滲出水量は葉内最大水ポテンシャルと同様の変化を示しており、カンキツが受けている水分ストレスの把握に役立つと考えられた。

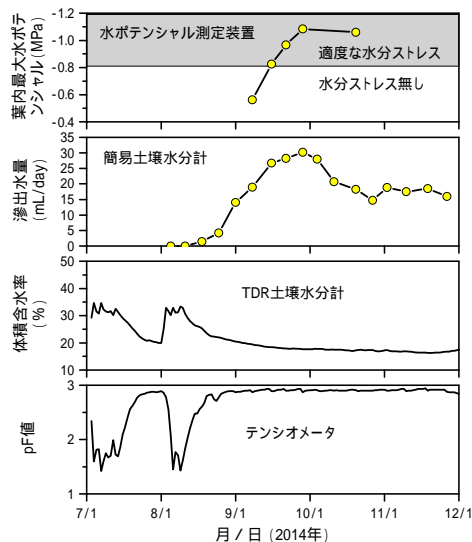


図6. 水分ストレスおよび土壌水分の経日変化

模擬植物(根)の1日当たり滲出水量と葉内最大水ポテンシャルの関係を図7に示す。1日当たり滲出水量が大きいほど葉内最大水ポテンシャルが低下し、カンキツは強い水分ストレスを受けていた。模擬植物(根)の1日当たり滲出水量はカンキツが受けている水分ストレスの指標となることが示された。

模擬植物(根)からの滲出水量を梅雨明けから収穫まで積算した値(以後、積算滲出水量)を求め、糖度と比較した結果を図8に示す。積算滲出水量が大きい地点のミカンほど糖度が高くなった。模擬植物(根)からの積算滲出水量は糖度の指標、すなわち、水分ストレスを積算した指標になると考えた。

模擬植物(根+葉)は実際の植物と同様に、蒸散と吸水が行われた。すなわち、葉に相当するセラミック板から水が蒸発し、蒸発に起因する吸引圧によりポラスカップから土壌中の水が吸水された。セラミック板からの蒸発量とポラスカップからの吸水量との差が塩ビ管内の水位変化として現れる。なお、植物は水分ストレスを受けると気孔を閉じて蒸散を抑制するが、模擬植物(葉+根)にはこのような機能はない。また、土壌がpF2.7以上に乾燥するとポラスカップから水が滲出し始めるが、この点も植物とは異なる。

植物の根が無い場所に模擬植物(根)を設置しても植物の水分ストレスは把握できない。模擬植物(根+葉)はセラミック板から蒸発するため、植物の根が無い場所に設置せざるを得ない場合には模擬植物(根+葉)による水分ストレスの計測は有用と考える。

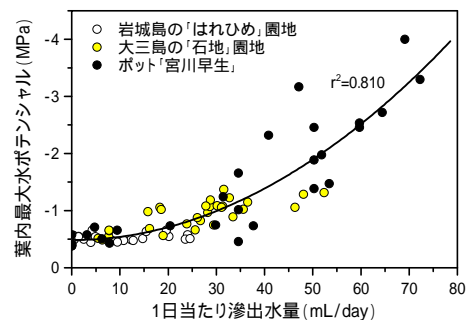


図7. 水分ストレスと滲出水量との関係

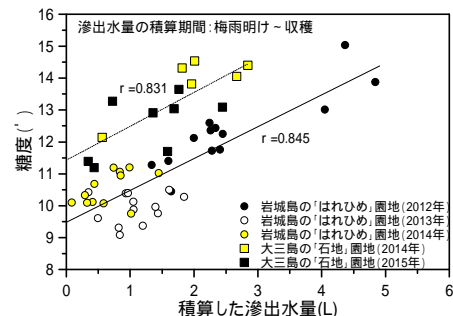


図8. 糖度と積算した滲出水量との関係

(4) 自然通風湿式シェルターの開発

本研究を進める過程で、模擬植物(葉)を使用して蒸発量だけでなく、気温と湿球温度を同時に測定する手法を開発した。模擬植物(葉)と温度センサーを図9に示す配置で空中に吊るして測定する。温度センサーはセラミック板の中央直下10mmの位置と、セラミック板の下面に取り付け、測定した温度がそれぞれ気温と湿球温度となる。セラミック板は気化冷却により湿球温度まで下がり、この温度をセラミック板下面に取り付けた温度センサーで測定する。さらに、セラミック板中央直下に取り付けた温度センサーでは、セラミック板からの放射冷却と生成された冷気が周囲からの輻射熱を相殺し、気温が正確に測定できると考えた。この仮説に基づき開発した測器が自然通風湿式シェルターである(図9)。

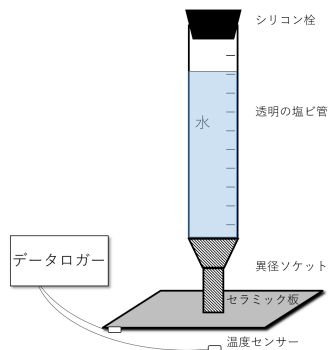


図9．自然通風湿式シェルター

## 5．主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計3件)

黒瀬義孝、簡易土壤水分計によるカンキツ樹の乾燥ストレスのモニタリング、果実日本、査読無、71巻6号、2016、52-57

黒瀬義孝、大濱秀一、村上要三、根角博久、ウンシュウミカンと中晩生カンキツ‘はれひめ’における簡易土壤水分計を用いた水分ストレスの把握、園芸学研究、査読有、15巻2号、2016、139-144、doi:10.2503/hrj.15.139

黒瀬義孝、簡易土壤水分計を使ったかん水管理、香川の果樹、査読無、184巻、2016、21-23

### 〔学会発表〕(計10件)

黒瀬義孝、多孔質セラミック板を使用した蒸発量、気温、湿球温度の測定、日本農業気象学会2017年全国大会、2017.3.30、北里大学十和田キャンパス(青森県十和田市)

黒瀬義孝、高品質カンキツ生産を実現する水分管理のための簡易土壤水分計、カンキツ研究ネットワーク公開フォーラム(招待講演)2017.2.27、アルカスSASEBO(長崎県佐世保市)

黒瀬義孝、カンキツ園地の土壤水分を見える化するシステムの構築、日本農業気象学会中国四国支部大会、2016.12.1、高知大学朝倉キャンパス(高知県高知市)

黒瀬義孝、簡易土壤水分計の水位低下量はカンキツが受けている乾燥ストレスの指標となる、平成28年度近畿・中国・四国果樹研究会(招待講演)2016.7.21、滋賀県立県民交流センター(滋賀県大津市)

黒瀬義孝、降雨の影響と農業利用への展望、日本農業気象学会2016年全国大会公開シンポジウム(招待講演)2016.3.16、岡山大学津島キャンパス(岡山県岡山市)

黒瀬義孝、カンキツの高品質生産のための土壤乾燥指標となる「簡易土壤水分計」、カンキツ産地改革フォーラム「産地力強化を支援する生産技術体系と機能性成分(クリプトキサンチン)含有量保証

供給に向けた取り組みの成果」(招待講演)2016.2.26、グランシップ静岡(静岡県静岡市)

黒瀬義孝、土壤水分を調べて高品質化、土壤水分「見える化」講習会(招待講演)2016.1.29、大阪府立環境農林水産総合研究所(大阪府羽曳野市)

黒瀬義孝、自然通風湿式シェルターの開発、日本農業気象学会中国四国支部大会、2015.12.3、近畿中国四国農業研究センター四国研究センター(香川県善通寺市)

黒瀬義孝、簡易土壤水分計利用による樹体ストレスの高度管理技術、常緑果樹研究会(招待講演)2015.8.25、静岡県男女共同参画センター(静岡県静岡市)

黒瀬義孝、模擬植物(根)を使った土壌およびカンキツの水ポテンシャル測定、日本農業気象学会中国四国支部大会、2014.12.4、山口大学(山口県山口市)

### 〔図書〕(計1件)

黒瀬義孝、農山漁村文化協会、「最新農業技術 果樹Vol.9」、2016、271-274

### 〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：自然通風湿式シェルター及び測定装置

発明者：黒瀬義孝

権利者：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許

番号：特許願2015-156029

出願年月日：2015年08月06日

国内外の別：国内

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

黒瀬 義孝 (KUROSE, Yoshitaka)

(国研)農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター 傾斜地園芸研究領域・グループ長

研究者番号：80355651