

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06025

研究課題名(和文) テンシオメーターの測定限界(pF3.0)を打破する模擬植物(根)の開発

研究課題名(英文) Development of an instrument that breaks through the measurement limit (pF 3.0) of the tensiometer

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・チーム長

研究者番号：80355651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：テンシオメーターに透明の塩ビ管(25×1000mm)を取り付けた測器を開発した。この測器は、ポラスカップの周囲に透水性資材(荒木田土)を充填して設置する。この状態の測器を模擬植物(根)とした。模擬植物(根)をテンシオメーターとして機能させつつ、テンシオメーターの測定限界に達してからはポラスカップからの滲出水量を指標に土壤のマトリックポテンシャルが測定できることを明らかにした。模擬植物(根)により、テンシオメーターの測定限界を超えてpF4付近まで測定でき、テンシオメーターでは測定できなかった砂や礫でも測定できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壤のマトリックポテンシャルを測定するテンシオメーターは優れた測器であるが、pF2.7が実用上の測定限界であり、砂や礫では測定できない弱点があった。模擬植物(根)はこれらの弱点を克服した測器であり、長い歴史を持つテンシオメーターの測定に革新をもたらした。模擬植物(根)の指示値である滲出水量は塩ビ管内の水位低下量に置き換えられ、真空計を読み取るテンシオメーターと同様に、簡単に使える土壤水分計である。テンシオメーターに透明の塩ビ管を取り付け、ポラスカップの周囲に透水性資材を充填するだけの改良のため、テンシオメーターと同程度の価格で作製でき、生産現場での利用が期待される。

研究成果の概要(英文)：An instrument has been developed to measure the soil matric potential. The instrument consists of a transparent PVC tube (25 x 1000 mm) attached to a tensiometer, which is filled with water-permeable material around a porous cup. This instrument measures the soil matric potential in a similar methodology to a tensiometer. Furthermore, once the tensiometer's measuring limit (pF 2.7) is reached, the instrument measures the soil matric potential up to pF 4 using the amount of seeping water from the porous cup as an indicator. The use of water-permeable materials has enabled the instrument to measure in sand and gravel soils, which could not be measured with a tensiometer.

研究分野：農業気象

キーワード：模擬植物(根) 土壤のマトリックポテンシャル テンシオメーター 乾燥ストレス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

土壌水分は作物の生育に必要な不可欠であり、土壌水分を適切に保つことにより農作物の収量が確保され、高品質化が図られる。土壌水分計には、土壌に含まれる水の割合を測定するタイプと、土壌中に水が保持されているエネルギーを測定するタイプとがある。前者で測定される土壌水分は体積含水率であり、後者はマトリックポテンシャルである。土壌のマトリックポテンシャルは植物が土壌中の水を吸い取るのに必要なエネルギーを示し、植物が受けている乾燥ストレスを表す優れた指標である。土壌のマトリックポテンシャルを測定する土壌水分計としてテンシオメーターがある。テンシオメーターはポーラスカップと呼ばれる多孔質のセラミックにより、ポーラスカップ内の水と土壌中の水とを連続させ、平衡状態にする。この状態でポーラスカップ内の負圧を真空計で測定することにより、土壌のマトリックポテンシャルを求める。テンシオメーターは生産現場で最も広く使用されている土壌水分計である。

テンシオメーターには2つの弱点があり、利用場面が限定される要因となっている。1つ目の弱点は、土壌が pF2.7 以上 (マトリックポテンシャル-50kPa 以下) に乾燥するとポーラスカップを通して測器内に空気が入り、マトリックポテンシャルを正確に測定できない点である。テンシオメーターは pF2.7 が実用上の測定限界であり、負圧が真空に達する pF3.0 (-100kPa) が理論上の測定限界である。大豆やカンキツ等の乾燥に強い作物では、乾燥ストレスを受け始める前にテンシオメーターが測定限界に達するため、乾燥ストレスの指標として使えなかった。2つ目の弱点は、テンシオメーターを砂や礫に設置しても、ポーラスカップ内の水と土壌中の水との連続性が確保できず、測定できない点である。そのため、これらの弱点を克服し、土壌のマトリックポテンシャルを測定する土壌水分計の開発が求められていた。

2. 研究の目的

テンシオメーターの測定限界を打破し、弱点を克服する土壌水分計の開発が目的である。本研究では、テンシオメーターに透明の塩ビ管を取り付け、ポーラスカップの周囲に透水性資材を充填した土壌水分計を開発する。この土壌水分計を砂や礫に設置してもテンシオメーターとして機能し、テンシオメーターの測定限界 (pF2.7) に達してからはポーラスカップからの滲出水量を指標に土壌のマトリックポテンシャルを測定する手法を開発する。

3. 研究の方法

試験1: テンシオメーターに透明の塩ビ管を取り付けた測器を作製する。この測器は、ポーラスカップの周囲に透水性資材を充填して設置する。この状態の測器を模擬植物(根)とした。模擬植物(根)に取り付ける透明の塩ビ管の規格、真空計の取り付け位置、透水性資材の選定および充填範囲を提示し、模擬植物(根)の規格を決定した。

試験2: テンシオメーターを砂や礫に設置しても、ポーラスカップ内の水と土壌中の水との連続性が確保できず、測定できない。この弱点を克服するため、ポーラスカップの周囲に透水性資材を充填して測定する方法を用いた。砂を詰めたワグネルポット(1/2000a)にカンキツの苗木を植え、模擬植物(根)2本を設置した。1本は砂に直接設置し、もう1本はポーラスカップの周囲に透水性資材を充填して設置した。かん水停止後、塩ビ管内の水位低下量を毎日測定し、水位の低下量から水の連続性が確保されているかを判定した。再現性を確認するため、同様の試験を繰り返すとともに、礫を詰めたポットでも同様の試験を行った。

試験3: 植物は土壌水分を吸いやすい場所から吸う。水を吸いやすい場所とは、土壌のマトリックポテンシャルが高い場所である。植物がマトリックポテンシャルの高い場所から吸水することにより、充填した透水性資材と現地土壌のマトリックポテンシャルは同じになると考えた。この仮説を証明するため、透水性資材を充填した箇所と現地土壌にそれぞれ水ポテンシャルセンサー(METER社のTEROS21)を設置し、測定を行った。測定は水の連続性が確保されにくい真砂土のカンキツ園地で行った。カンキツの根域がある場所に直径7cm、深さ20cmの穴を掘り、そこに透水性資材を充填し、TEROS21を設置した。対照として、TEROS21を現地土壌にそのまま設置し、測定を行った。

試験4: 模擬植物(根)の水位低下量から土壌のマトリックポテンシャルを算出する式を作成するため、現地土壌にTEROS21を設置し、この値をマトリックポテンシャルの真値とした。TEROS21の近傍に模擬植物(根)を設置し、塩ビ管内の水位低下量を測定した。水位低下量と土壌のマトリックポテンシャルの関係から換算式を求めた。試験4は試験3と同じ真砂土のカンキツ園地で行った。模擬植物(根)の水位低下量は目視で測定したため、日別の値となる(日界7時)。一方、TEROS21は1時間毎にデータロガーで測定した。そのため、模擬植物(根)との比較では、日界を7時としてデータ処理を行った。

試験5: 種々のカンキツ園地において、模擬植物(根)で土壌のマトリックポテンシャルが測定できるかを検証した。土質が異なる園地に模擬植物(根)、TEROS21、テンシオメーターをそれぞれ設置し、土壌のマトリックポテンシャルを測定し、比較した。

試験6: 模擬植物(根)を用いてカンキツが受けている乾燥ストレスを評価できるかを検討し

た。カンキツが受けている乾燥ストレスの指標として、1日当たりの果実肥大量を用いた。果実肥大量の測定は、模擬植物(根)を設置しているカンキツ樹を対象に行い、1樹につき4果に印を付け、印を付けた果実の果径をノギスで測定した。測定は1週間毎とし、模擬植物(根)の水位低下量および果径を測定した。水位低下量および果実肥大量を前回測定した日からの経過日数で除することにより、1日当たりの水位低下量および果実肥大量を算出した。測定は土質が異なるカンキツ園地で行った。

4. 研究成果

試験1の結果である模擬植物(根)の規格を図1に示す。テンシオメーターに取り付ける透明の塩ビ管に関して、塩ビ管を長くした測器ほど、ポーラスカップから滲出する水量は多くなった。一方、塩ビ管の長さが同じであれば、内径(容積)が異なっても滲出水量は同じであった。そこで、テンシオメーターに取り付ける透明の塩ビ管は内径25mm、長さ1000mmとした。これは簡易土壌水分計(商品名:土壌水分目視計)で使用する透明塩ビ管と同じ規格であり、簡易土壌水分計で得られた知見が使えると考えたためである。真空計の取り付け位置はポーラスカップから20cmの位置とした。模擬植物(根)のどの位置に真空計を取り付けても、ポーラスカップと真空計の高度差を補正すれば、算出されるマトリックポテンシャルは同じ値になった。ただし、塩ビ管内の水位が低下し、真空計が水面より高い位置になると正確に測定できなくなった。このため、真空計はポーラスカップにできるだけ近い位置が望ましい。ポーラスカップは地中20cmに設置するため、真空計が地表面ぎりぎりになる20cmを取り付け位置とした。透水性資材の条件として、入手が容易、土壌中に充填しやすい、水の連続性が確保できる、透水性資材内に植物の根が伸びる、透水性資材を土壌中に放置しても問題にならないとした。上記の条件を満たしたのが水田土壌であった。ただし、水田土壌には種々の種類があるため、条件を統一するために水田土壌で唯一市販されている「荒木田土」を透水性資材に選んだ。荒木田土の充填範囲は、ポーラスカップから滲出した水の拡散範囲とした。そこで、荒木田土を詰めたポットに模擬植物(根)を設置し、土壌の乾燥に伴ってポーラスカップから滲出する水量が最大になるのを待ち、水の拡散範囲を土壌の色から判断した。その結果、滲出水はポーラスカップから約3cmの範囲に拡散していた。ポーラスカップを中心に直径7cm×高さ10cmの範囲を荒木田土で充填することにした。

試験2の結果を図2に示す。荒木田土の充填によって水の連続性を確保する試験の結果である。かん水停止後のカンキツの葉内最大水ポテンシャルは-1.4MPaに達したことから、カンキツは落葉するほどの乾燥ストレスを受けており、土壌は非常に乾燥していたと考えられる。ポーラスカップを砂に直接設置した測器では、塩ビ管内の水位は低下しなかった。このことから、ポーラスカップを砂に直接設置すると、水の連続性が確保できないことが確かめられた。一方、荒木田土を充填してポーラスカップを設置した測器では、水位は低下した。このことから、充填した荒木田土がポーラスカップ内の水と土壌中の水とを連続させる役目を果たしたと考えた。また、7月31日にカンキツ樹を切断すると、翌日から水位の低下が急激に小さくなった。このことは、水位の低下がカンキツの吸水(蒸散)に起因していることを示している。図2は砂を詰めたポットでの結果であるが、礫を詰めたポットでも同様の結果が得られた。カンキツ園地は砂質土壌や礫質土壌の園地が多い。このような園地においても、荒木田土を充填してポーラスカップを設置することにより、水の連続性を確保して測定できると考えた。

試験3の結果を図3に示す。充填した荒木田土での測定値が、現地土壌のマトリックポテンシャルを代表するかを確認した試験の結果である。荒木田土と現地土壌にそれぞれ設置したセンサーはほぼ同じマトリックポテンシャルを示した。植物は水を吸いやすい場所から吸水するため、土壌のマトリックポテンシャルは同じになったと考えた。充填した荒木田土に設置したセンサーは、現地土壌のマトリックポテンシャルを代表することが示唆された。試験2および試験3の結果から、荒木田土を充填して模擬植物(根)を設置することにより、水の連続性が確保され、さらに、現地土壌のマトリックポテンシャルが測定されることが示唆された。

試験4の結果を図4に示す。模擬植物(根)の水位低下量(滲出水量)から土壌のマトリックポテンシャルを算出する式を求めた試験の結果である。ばらつきは大きいものの、模擬植物(根)の水位低下量と土壌のマトリックポテンシャルとの間に直線関係が認められた。切片を-50kPaに固定し、単回帰により換算式を求めた(図中の実線)。換算式を(1)式に示す。なお、(1)式の定数項(-50kPa)はポーラスカップの空気侵入値である。この空気侵入値は、ポーラスカップが空気を通し始める圧力であり、模擬植物(根)の水位が低下し始める圧力である。定数項を-50kPaに固定せずに換算式を求めても、ほぼ同様の換算式となった。

$$m = -50 - 76.8 \cdot H \cdot \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 m は土壌のマトリックポテンシャル(kPa)、 H は模擬植物(根)の1日当たり水位低下量(cm/日)である。

試験5の結果を図5に示す。水の連続性が確保されにくい真砂土のカンキツ園地に模擬植物(根)を設置し、土壌のマトリックポテンシャルを測定した結果である。模擬植物(根)による測定では、塩ビ管内の水位が低下し始めるまでは真空計の値を使用し、水位が低下し始めてからは(1)式で土壌のマトリックポテンシャルを算出する。図5Aは模擬植物(根)の水位低下量から算出されたマトリックポテンシャルとTEROS21との比較であり、乾燥した水分領域での比較が目的である。一方、図5Bは模擬植物(根)の真空計で測定した値とテンシオメーターの測定値

との比較であり、テンシオメーターの測定領域での比較が目的である。模擬植物(根)で測定したマトリックポテンシャルは TEROS21 およびテンシオメーターの値と良い対応を示した。模擬植物(根)により、テンシオメーターの測定領域から pF4 付近までの土壌のマトリックポテンシャルが測定できる可能性が示された。

図6は土質が異なる園地において、模擬植物(根)の水位低下量から算出されたマトリックポテンシャルと TEROS21 の測定値とを比較した結果である。ばらつきはあるものの、1対1の線を中心にデータがプロットされている。土質が異なる園地においても、模擬植物(根)を使うことにより、土壌のマトリックポテンシャルが測定できることが示された。

試験6の結果を図7に示す。模擬植物(根)の水位低下量とカンキツが受けている乾燥ストレスとの関係である。果実肥大量が小さいほど、カンキツは強い乾燥ストレスを受けている。模擬植物(根)を現地土壌に設置した場合、水位低下量と果実肥大量の関係は園地によって異なった(図7A)。一方、荒木田土を充填して模擬植物(根)を設置すると、模擬植物(根)の水位低下量は現地土壌にそのまま設置した場合と比べて2倍程度となった(図7B)。さらに、園地が異なっても、模擬植物(根)の水位低下量と果実肥大量との関係はほぼ同じになった(図7B)。このことから、充填した荒木田土にポーラスカップを設置することにより、土質が異なる園地においても、共通の指標でカンキツが受けている乾燥ストレスを把握できると考えた。

模擬植物(根)はテンシオメーターの弱点を克服した測器であり、長い歴史を持つテンシオメーターの測定に革新をもたらすと考える。模擬植物(根)の指示値である滲出水量は塩ビ管内の水位低下量に置き換えられ、真空計を読み取るテンシオメーターと同様に、簡単に使える土壌水分計である。テンシオメーターに透明の塩ビ管を取り付け、ポーラスカップの周囲に荒木田土を充填するだけの改良のため、テンシオメーターと同程度の価格で作製できる。このため、生産現場での利用が期待される。

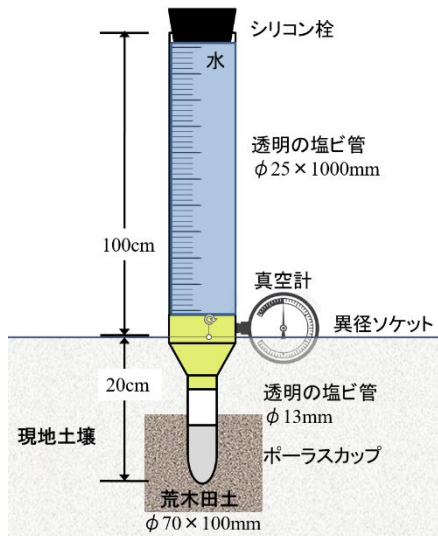


図1. 模擬植物(根)の構造

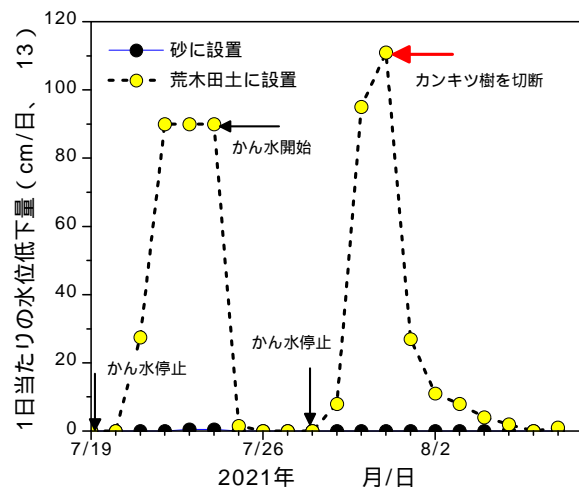


図2. 充填した荒木田土の効果(水の連続性)

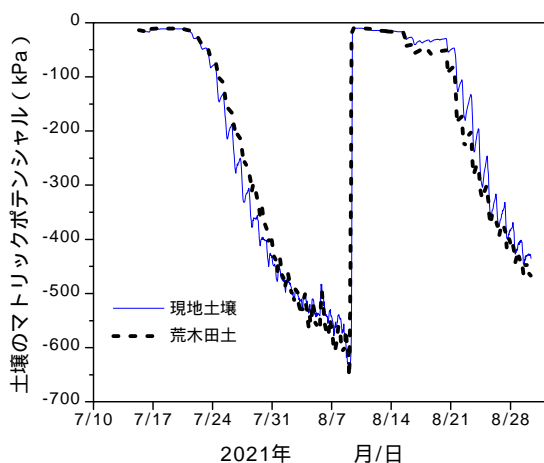


図3. 荒木田土(充填)と現地土壌で測定した土壌のマトリックポテンシャル

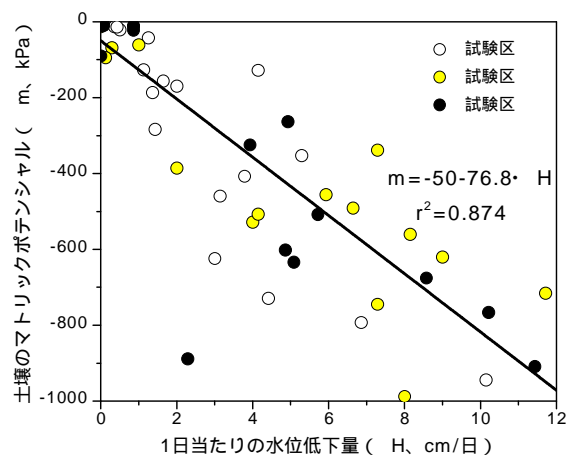


図4. 模擬植物(根)の水位低下量と土壌のマトリックポテンシャルの関係

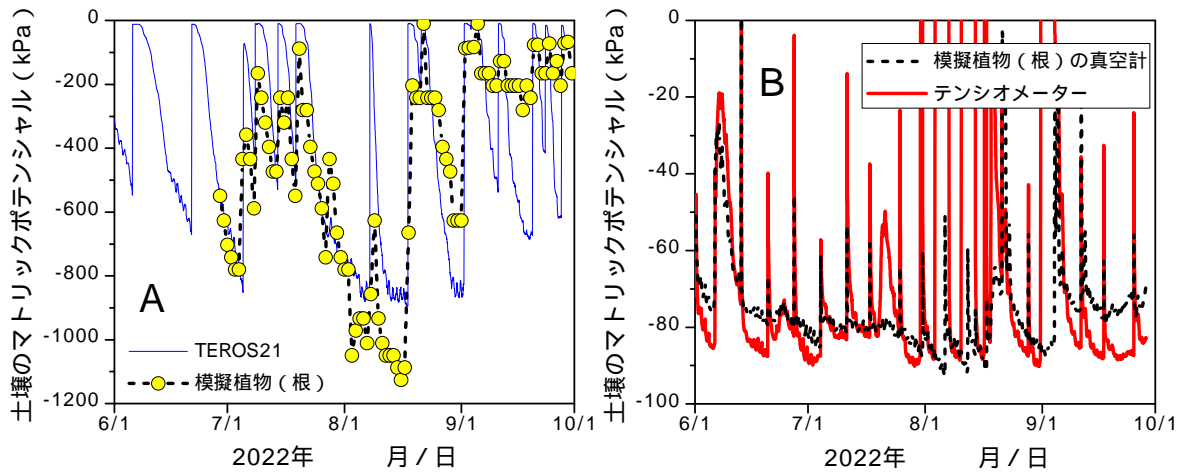


図5. 模擬植物(根)で測定した土壌のマトリックポテンシャル

A: 乾燥した水分領域での比較、B: テンシオメーターの測定領域での比較

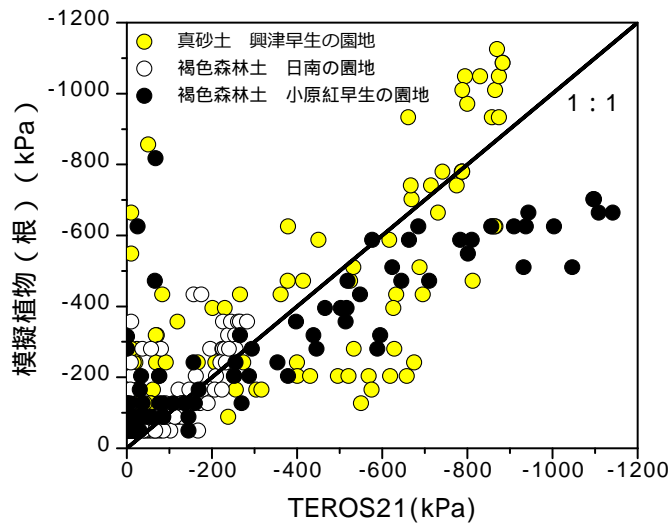


図6. 模擬植物(根)とTEROS21で測定した土壌のマトリックポテンシャル

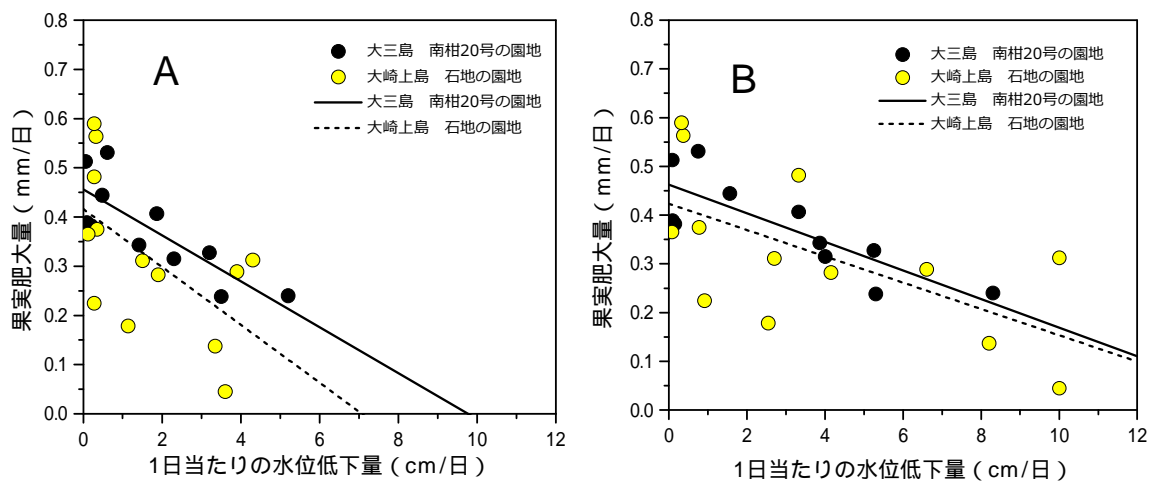


図7. 模擬植物(根)の1日当たり水位低下量と果実肥大量との関係

A: 現地土壌に設置、B: 荒木田土を充填して設置

図中の実線および破線は回帰直線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 黒瀬義孝	4. 巻 573
2. 論文標題 カンキツの高品質安定生産に貢献する「カンキツ用簡易土壌水分計」	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 作物生産と土づくり	6. 最初と最後の頁 52-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒瀬義孝	4. 巻 8
2. 論文標題 カンキツ用簡易土壌水分計の利用方法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 果実日本	6. 最初と最後の頁 76-79
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒瀬義孝	4. 巻 9
2. 論文標題 カンキツ用簡易土壌水分計の利用方法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 果樹園芸	6. 最初と最後の頁 6-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 黒瀬義孝、竹内真里
2. 発表標題 テンシオメータの測定限界を打破する測器の開発
3. 学会等名 日本農業気象学会中国四国支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒瀬義孝、竹内真里
2. 発表標題 テンシオメータの測定限界を打破する測器の開発と改良
3. 学会等名 日本農業気象学会2023年全国大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関