

令和 2 年 7 月 11 日現在

機関番号：22303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2019

課題番号：16K15018

研究課題名(和文) 光を利用する樹木根系の制御技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on development of control technique of woody root system by using light

研究代表者

本間 知夫 (Homma, Tomoo)

前橋工科大学・工学部・教授

研究者番号：80242246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、根系機能を、地上部や根に対する光照射で制御し、個体状態の維持管理等に応用する技術開発を目指すことを目的として実施した。主にチャの挿し木苗を利用し、LEDによる光照射(波長：赤・緑・青・白)を行い、生体電位、TTC法による根系呼吸活性、各苗の総根長、根におけるタンパク質発現などに及ぼす影響を調べた。生体電位は根への青色光照射で、根系呼吸活性は地上部への緑色光照射で、総根長は赤色光照射で、それぞれ最大の変化が得られた。根系が照射される光情報を認識してその機能を変化させていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

根系機能を光により制御することを目指すには、草本植物を使う方が早道と思われるが、生理生態が異なる樹木において特に求められる技術開発を行うためには、初めから樹木根系を対象にすべきと考える。本研究により樹木根系を光によりコントロールすることが可能となれば、茶樹・果樹などの工芸分野から街路樹・森林木などの樹芸・森林科学分野に至る樹木を対象とする幅広い分野への応用が期待され、その波及効果も大きい。また樹木根系が光を認識してその機能を変化させるという知見は、学術的にも画期的であり、その意義は極めて大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is development of a new control technique of function of woody root system by using light illumination. Tea cuttings were used as experimental materials. Effects of light illumination (wavelength: red, green, blue, white) by using LED on electric potential (EP), respiration activity of whole root system measured by TTC method (RA), total root length of each root cuttings (TRL), and expression of proteins in roots were examined. Largest changes were obtained on EP by blue light illumination, on RA by green one, on TRL by red one. These results suggest root system recognized illuminated light information and changed its functions.

研究分野：生物学、電気生理学、栽培生理学

キーワード：樹木根系 LED光照射 波長 生体電位 呼吸活性 タンパク質発現 チャ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

根の光に対する反応機構は、シロイヌナズナなどの草本植物を使って、Phototropins等の光受容体及びその遺伝子の発現解析により明らかにされつつある(Galen *et al*, 2007; Yokawa *et al*, 2011; Kutschera&Briggs, 2012; Mo *et al*, 2015)。しかし樹木についてはポプラで光受容体の発現と根を含む生育との関係が報告されている(Zawaski *et al*, 2012)程度で、草本植物に比べて研究例は極めて少ない。

申請者は樹木根を対象とした研究を行っており、地上部に照射したLED光の波長によりチャ挿し木苗の発根・伸長状況が異なること(上図, Homma *et al*, 2011a)、チャ白色根に直接LED光を照射すると波長や強度に依存して根の呼吸活性が変化すること(下図, Homma *et al*, 2011b)を見出した。すなわち、チャにおいても地上部に照射された光が根に伝達され、根は受容した光情報に応じて自身の生理状態を変えていることが示唆された。樹木は一度植えると長期間その場で栽培・個体管理をしなければならず、根の状態を良好に保つことは極めて重要である。そこで、光を利用して樹木根の状態をコントロールする技術が出来ればと考え、本研究を提案した。

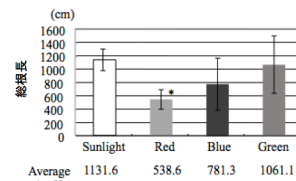


図: チャ白色根の総根長に対する各種LED光(波長)の影響

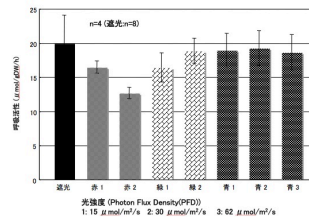


図: チャ白色根の呼吸活性に対する各種LED光照射(波長、光強度)の影響

2. 研究の目的

本研究では、樹木根における光受容体の発現とその解析、光照射による根の生理機能や物質生産の変化を調べることで、1) 樹木根に備わる光情報認識・処理機能を解明し、1)の結果を指標として、2) 光照射による樹木根の生理機能および樹体反応をコントロールする条件を検討することを目的としている。そして1)及び2)の目標を達成させることで、3) 光を利用した新たな樹木根系の制御技術を提唱することを目指すものである。

3. 研究の方法

研究の目的で掲げた1)~3)を実現するためには、それぞれにおいて、取り組まなければいけないこと、解決しなければいけないことがある。具体的に取り組んだ研究とその方法については以下に順を追って記す。

また本研究では樹木根が対象であるため、研究材料としては申請者が長年使用しているチャを使用した。季節によって準備出来ないこともあったため(特に冬季)、その場合は草本植物であるがキャベツ苗を使用した。

(1) 生体電位計測による根系生理機能の測定と生体電位に及ぼす光照射の影響

根系機能を非破壊的に計測する方法として、申請者が長年取り組んできた生体電位計測を本研究でも実施した。チャ挿し木苗の根を洗い出して水耕液に通気しながら浸し、生体電位計測には1対の非分極性電極(銀・塩化銀電極)を使用した。1本は水耕液に浸して基準とし、もう1本は10 mM KCl溶液を満たした注射筒に電極を浸し、チューブで注射筒と注射針を繋ぎ、注射針をチャの茎に刺入することで、液絡によって茎内部の電位(プラス極)を測定した。電極は電位増幅器に接続し、得られた電位は記録計に記録した。水耕液を入れた透明容器の底からLED(スタンレー電気製スティック型)で光を照射した。照射条件は、波長(ピーク値)が青(465 nm)、緑(502 nm)、赤(660 nm)、光強度は照射面(栽培容器底面)から4 cmのところまで $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に揃えた。遮光した場合を対照とした。計測は約1~2ヶ月間実施し、光照射が生体電位に及ぼす影響を調べた。

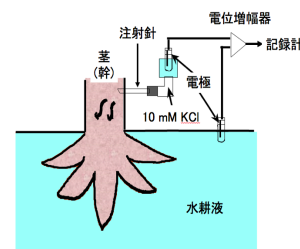


図 水耕栽培系での生体電位計測



(2) 根系全体の呼吸活性測定のためのTTC法の適用

計測された電位値が根系生理機能を反映していることを示すには、別の方法でも根系生理機能を測定して比較・評価する必要がある。これまでも根系生理機能として呼吸活性を指標とし、 O_2 アップテスター(TAITEC 5C)により根が消費する酸素量を測定していた。しかしこの方法は苗から根を切り離して密閉容器に根を浸して測定するため、その影響があるかどうか懸念があった。光照射が根系生理機能に及ぼす影響を調べるためには、個体のまま、そして根系全体の呼吸活性を測定する必要がある。呼吸活性を測定する方法は他にも知られているが、根の一部を切除して調べるものが多かった。そこで本研究では、既存のトリフェニルテトラゾリウムクロライド法(TTC法: TTCが根の呼吸関連酵素により還元されて不溶性フォルマザンになるので、その量を調べて呼吸活性とする方法)を根系全体の呼吸活性法として適用すべく改良を加えた。

(3) チャの根のタンパク質の抽出法の検討と光照射によるタンパク質発現の変動解析

研究背景で示したように、チャの根に光照射を行った時、波長や強度により根の呼吸活性が変化することから、根が光情報を受容して生理機能を変化させていると考えられ、チャの根において光受容体が存在する可能性が示唆された。そこで、チャの根への光照射によるタンパク質発現の変動を調べ、そして光受容体の存在について調べることを目的として、チャの根からのタンパク質抽出法の検討、電気泳動法によるタンパク質発現について調べた。

(4) チャ挿し穂への連続的かつ長期間の光照射が苗の成長に及ぼす影響

赤玉土を入れたコンテナにチャ(“やぶきた”と“おくはるか”の2品種)の挿し穂を二葉二節で挿し、コンテナ上面にLEDをセットし、各波長(赤、青、緑、白)の光(強度は光源面から約1 cmのところでは50~90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)を連続的に長期間(3~5ヶ月間)照射した。挿し穂は根が無いので、発根およびその後の根の伸長に及ぼす光照射の影響を知ることが出来る。光照射終了後、苗を取り出し、一部は(3)の実験のために冷凍保存、一部は(2)の方法で根系呼吸活性の測定を、残りはImage-Jによる総根長の解析のために根のみを回収して70%エタノール溶液に浸漬・組織を固定化して、使用するまで冷蔵保存を行った。



光照射終了後、苗を取り出し、一部は(3)の実験のために冷凍保存、一部は(2)の方法で根系呼吸活性の測定を、残りはImage-Jによる総根長の解析のために根のみを回収して70%エタノール溶液に浸漬・組織を固定化して、使用するまで冷蔵保存を行った。

(5) 地上部への光照射が根系呼吸活性に及ぼす影響

チャやキャベツの苗に対して地上部に各波長の光を照射した時の根系呼吸活性をTTC法にて調べ、照射光の波長が根系生理機能に及ぼす影響を調べた。軽く洗い出した根は、50 mL チューブに入れたTTC反応液(1%TTC:0.1 M リン酸緩衝液:イオン交換水=1:4:5の割合で

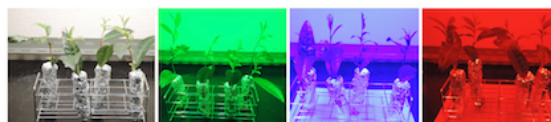


図 チャ挿し木苗への各波長の光照射が根系呼吸活性に及ぼす影響

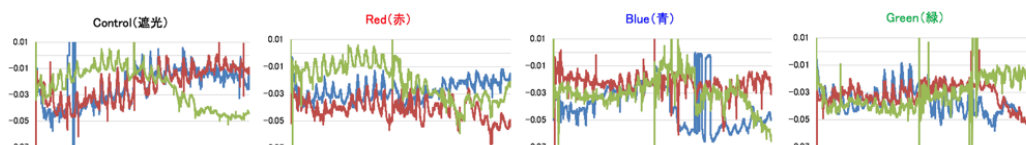
混合)に浸し、チューブ(根部)は遮光して、LED(共立電照製)下に置いた。苗の一番上部を光源面から約20 cmのところになるよう高さを調整し、その場所での光強度をいずれの波長(白、赤、緑、青)でも約90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に揃えて照射させた。チャの場合は10時間あるいは24時間、キャベツの場合は3時間あるいは6時間の光照射を行った。照射後、根部をチューブから取り出し→根についた土をきれいに洗う→余分な水分を除去して新鮮重量を測定→70°Cで約15時間乾燥→乾物重を測定し、フォルマザン抽出まで遮光保存した。フォルマザン抽出は、乾燥した根を15 mL チューブに入れ、新鮮重量0.1 gあたり酢酸エチル0.5 mLを加え、遮光して24時間室温で放置して行った。フォルマザン抽出された酢酸エチル溶液の485 nmにおける吸光度を測定し、あらかじめ作成した検量線から生成フォルマザン量を求め、乾物重当たりに換算した値(生成フォルマザン量mg/g 乾物重)を呼吸活性値として求めて比較した。

4. 研究成果

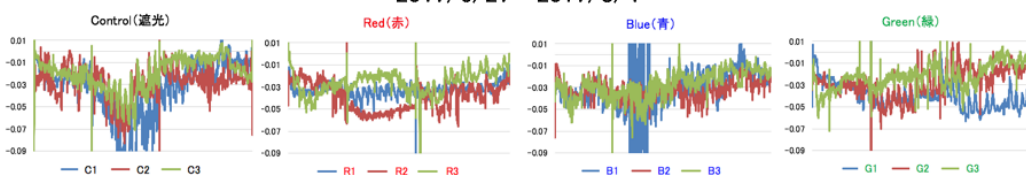
(1) チャ水耕栽培苗の根部への光照射が生体電位に及ぼす影響

チャの挿し木苗の根を洗い出して水耕栽培を始めると、季節により異なるが、早ければ約1週間後に新しい白色根の出現を確認することが出来る。そして今まであった根は次第に茶褐色に変化して枯死し、新しい白色根に入れ替わる。この時に生体電位を測定すると、白色根の出現前後を境に電位の推移が変わる。そしてその後白色根が増えた状態になり、根部に光照射を行っていると、背景でも触れたように照射する光の波長によって根系の呼吸活性が異なることから、生体電位の推移もその違いが反映されるように、波長により若干ではあるが異なるようになる。今回、2017年6月~8月にかけて実施した結果を以下に示す。

2017/6/1~2017/6/27



2017/6/27~2017/8/4



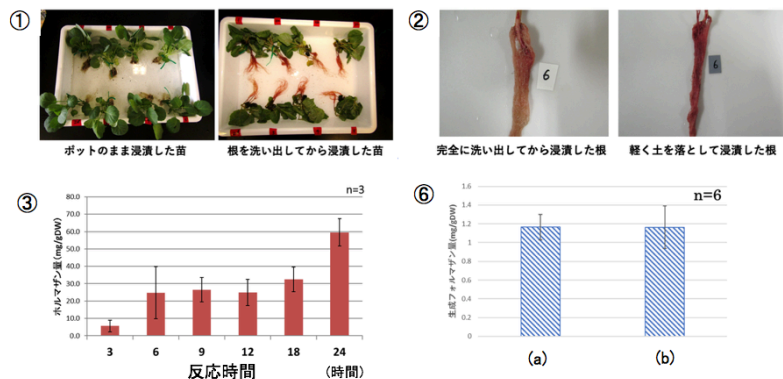
個体によって電位の推移は異なるものの、同じグループの3個体については似たような推移を示した。照射光の波長の違いが電位変化に及ぼす影響については、今回の計測ではあまり違いは見られなかった。

なお、本研究の最終年度に当初使用していた指向性の高いLED灯具の他に、面的に均一な光強度を照射出来る新しいLED灯具が使えるようになった。そこで今後は、これまでの直接根に光を照射した場合の影響の実験の他に、電位計測を行いながら地上部に各波長の光を照射した場合の影響についても調べる予定である。

(2) 根系全体の呼吸活性測定のための TTC 法の適用

根系全体の呼吸活性を評価する方法として、根の呼吸(酸素消費)により TTC が還元された結果として水に不溶性のフォルマザンが生成されるので、その量を測定して多い・少ないで呼吸活性が高い・低いと評価することが出来る。そこで根系全体でこの TTC 法を適用出来るかどうか、この実験ではキャベツ苗を利用して検討した結果、以下が得られた。

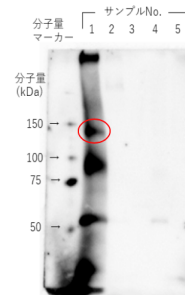
- ① 土壌の有無の影響：苗を掘り出さずにポットをそのまま TTC 反応液に浸けても、フォルマザン生成は確認出来なかったが、あらかじめ水中で軽く土を落とす程度であれば、土が付いたままでもフォルマザン生成は認められた。
- ② 土がしっかりと付いている根の場合、完全に洗い出してから TTC 反応液に浸けると、フォルマザン生成量が少なくなり、根にストレスを与えてしまっていたと思われた。①の結果からも、水中でサッと土を洗い落とす程度で良いので簡便である。
- ③ 反応時間を 3/6/9/12/18/24 時間と変えて生成フォルマザン量を比較したところ、時間が長くなると生成フォルマザン量は増加したが、6~18 時間ではほとんど変わらなかった。すなわち、キャベツ苗の場合は 6 時間反応させれば良いことが分かった。
- ④ 根系全体を TTC 反応液中に何時間も浸けることから、通気した方が良いのではないかと考えて通気したところ、生成フォルマザン量は減少した。通気によって TTC の還元が起りにくくなってしまったためと思われ、通気はしない方が良いことが分かった。
- ⑤ 反応温度が高いほど生成フォルマザン量は増加した。酵素活性に依存するため、反応温度の影響はあるが、室温程度(22℃)で行うのであれば、充分と思われた。
- ⑥ これまでの方法では、反応終了後、直ちにフォルマザンを抽出して定量することになっていた。そこで、(a)根系全体を反応させた直後に生成したフォルマザンを抽出した場合、(b)反応後に根を乾燥させてから生成したフォルマザンを抽出した場合で量を比較したところ、両者の間に違いは見られなかった。すなわち、呼吸活性の測定として TTC 反応をさせた後は根を乾燥させて保存し、生成したフォルマザンの抽出は後日まとめて行えば良いことが分かり、作業性が上がり、多くのサンプルを扱うことも可能になることが分かった。



なお以前に O_2 アップテスターで呼吸活性を測定した時、草本植物(野菜の苗)に較べて、チャの酸素消費量はかなり少なかった。またチャの他にマツなどの酸素消費量も同様に少なく、樹木根の呼吸活性は低いことが分かった。そのため TTC 法で調べる場合、反応時間の検討が必要になってくる。チャの場合は反応時間を 6/10/24 時間で実施したが、6 時間ではフォルマザンの生成が目視では確認出来ず、反応時間としては不十分であると思われた(しかし、生成はされていることは抽出操作を行うことで確認出来た)が、10 時間あるいは 24 時間の反応では目視でもフォルマザン生成が確認され、時間が長くなると生成フォルマザン量は増加した。

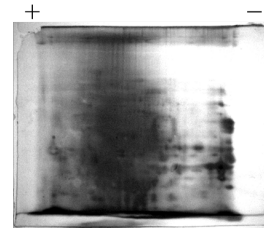
(3) チャの根のタンパク質の抽出法の検討と光照射によるタンパク質発現の変動解析

チャにはポリフェノールが多く含まれており、タンパク質を分析する SDS-PAGE や二次元電気泳動の泳動を阻害すると考えられる。そこでタンパク質の抽出時にポリフェノールと選択的に結合するポリビニルピロリドン (PVPP) を用いたサンプル処理について検討した。PVPP 処理後に SDS 抽出バッファーを用いて抽出したタンパク質溶液について SDS-PAGE を行うと数本のバンドが確認されたので、光受容体タンパク質の一種であるフォトトロピンに対する抗体(抗フォトトロピン抗体)を用いてウェスタンブロッティングを行ったところ、シロイヌナズナでは反応が見られた(図中の赤丸)が、チャで



は反応は見られなかった(1:土耕のシロイヌナズナの葉、2:水耕のチャの葉、3:水耕のチャの根、4:土耕のチャの葉、5:土耕のチャの根)。

次いで、タンパク質を等電点と分子量で分離する二次元電気泳動分析を行うために、SDS抽出バッファの代わりに尿素抽出溶液を用いてチャ根タンパク質抽出を行ってSDS-PAGEを行うと、数本のバンドが検出された。そこで二次元電気泳動を行ったが、タンパク質のスポットのフォーカスはほとんど検出されなかった。抽出時のPVPP添加量を検討し、チャ根はサンプル量に対して50%重量のPVPPを加え、また尿素抽出溶液を用いて抽出したタンパク質溶液に3種類のタンパク質沈殿処理(アセトン法、TCA法、TCA/アセトン法)をそれぞれ行い、タンパク質を沈殿させ、回収することで泳動を阻害すると考えられる物質の除去について検討したが、電気泳動像の改善はほとんど見られなかった。より多くの泳動阻害物質を除去するため、抽出時のタンパク質沈殿処理後、回収したタンパク質溶液の濃縮も兼ねて再びタンパク質沈殿処理を行った。二次元電気泳動分析の結果、チャ根サンプルは抽出時、濃縮時ともにTCA法で最も検出スポット数の多い泳動像が得られた。しかし、変動解析に用いるには充分とは言い難く、その原因としては、等電点電気泳動の泳動時間の他に、サンプル中の泳動阻害物質の影響も考えられる。PVPP添加量の再検討に加えて、タンパク質沈殿操作のサンプルの氷冷アセトン洗浄の回数など、さらなる検討を行う必要がある。今後、チャの根からのタンパク質の抽出方法を確立した後に光を照射したサンプルのタンパク質変動解析を行う予定である。



(4) チャ挿し穂への連続かつ長期間の光照射が苗の成長に及ぼす影響

この実験は毎年実施していたが、年によって挿し穂の状態が異なるためか、ほとんど発根がない年もあった(研究3年目)。タンパク質発現の解析は(3)で示したようにさらなる抽出法の検討が必要のため、サンプルはそのまま保存中である。総根長の解析についてもソフトとプログラムがチャの根で行うための改良が必要だったが進んでおらず、やはりサンプルは保存中である。TTC法による根系の呼吸活性については、研究2年目と4年目のサンプルについて実施し、2年目の時はコントロールとして外に置いた苗の呼吸活性が高く、LED光を照射した個体についてはいずれも低いものであった。おそらく光強度が外に比べて低かったためと思われたが、青色光照射の“おくはるか”だけ、コントロールと同程度の呼吸活性を示した。4年目の時は反応時間を6時間と短くしてしまい、生成フォルマザン量は極めて少なかったが、緑色光照射の苗の呼吸活性が高かった。

(5) 地上部への光照射が根系呼吸活性に及ぼす影響

チャ挿し木苗の地上部に対して異なる波長の光を照射した時の根系呼吸活性は、右図のようになった。いずれの波長においても10時間照射よりも24時間照射の方が生成フォルマザン量は多くなったが、その増加の割合はわずかだった。苗の状態によって変わるようで、この場合であれば照射時間(=TTCの反応時間)を短くした方が、差が出たのではないかと思われた。波長の違いによる根系呼吸活性への影響については、今回の実験では違いはほとんど見られない結果となったが、赤色光照射において反応時間が短い場合、他の波長の光を照射した場合よりも根系呼吸活性は低い傾向となった。今回は地上部への光照射であり、赤色光は光合成の有効波長であるため、葉における光合成活性が高まった結果として、根系呼吸活性は抑え気味になっていた可能性は考えられた。今後、地上部(葉)における光合成活性の測定も同時に行う。植物は個体内における各部位の活性のバランスを取って調節することで、生存のために効率的な活動をしているのかもしれない、我々ヒトを含む動物における自律神経系による恒常性維持が、植物においても起こっているのではないだろうか。

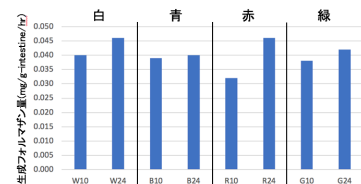


図 地上部への光照射が根系呼吸活性に及ぼす影響

本研究課題では、光により樹木根系の機能を制御することで、個体維持・管理に応用することを究極の目的として、樹木根が光情報を受容・認識して機能変化を起こすことの解明についての各種実験を実施した。研究期間を通じて、材料の調達、実験実施場所の確保の点で問題もあり、十分な成果を挙げるには至らなかったと言わざるを得ないが、根系機能の指標として簡易な根系全体の呼吸活性法を確立することが出来、また申請者が実施している生体電位計測は根系状態を反映した変化を捉えられることが示された。そして地上部あるいは地下部への光照射により、根系状態が変化していることを示唆する結果も得られてきた。しかし、実施に至らなかったチャの根におけるタンパク質発現解析を進めること、光照射条件(強度、照射方法など)を様々に変えた時の根系機能の変化の調査など、残された課題を今後も引き続き実施することで、本研究課題の目的を達成させたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 本間知夫・古谷野拡・松尾喜義・金満伸央	4. 巻 122 (別)
2. 論文標題 茶樹根への光照射が根系機能に及ぼす影響－電位計測による評価について	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 茶業研究報告	6. 最初と最後の頁 36
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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小山田篤史・村田拓朗・本間知夫
2. 発表標題 TTC法を植物根系全体の呼吸活性測定にもちいるための条件の検討
3. 学会等名 第48回根研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間知夫・小山田篤史・村田拓朗
2. 発表標題 作物根系の呼吸活性測定のためのTTC法の適用条件の検討
3. 学会等名 日本作物学会第246回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山田篤史・村田拓朗・小島尚之・本間知夫
2. 発表標題 作物根系全体の呼吸活性測定に適用するためのTTC法の改良
3. 学会等名 2018年度日本化学会関東支部群馬地区研究交流発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 関慎太郎・神戸隆介・木下明・本間知夫
2. 発表標題 桑の根を利用するための苗の水耕栽培条件の検討
3. 学会等名 第46回根研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間知夫・井村信弥・石垣圭一・馬場繁幸・渡辺信
2. 発表標題 西表島・マングローブ植物の生体電位の長期連続計測について
3. 学会等名 第46回根研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間知夫・阿部典之・森隆之・大淵功
2. 発表標題 前橋駅前通りケヤキ生体電位の長期連続計測－4年間の結果と今後について
3. 学会等名 第47回根研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間知夫・永淵修・中澤暦・横田久里子・金谷整一・手塚賢至
2. 発表標題 電位計測法によるヤクタネゴヨウの健康診断－鉢植え苗の計測
3. 学会等名 屋久島学ソサエティ 第5回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 関慎太郎・深井隆稔・神戸隆介・木下明・本間知夫
2. 発表標題 水耕栽培により得られた桑根抽出液の機能性について
3. 学会等名 日本農芸化学会2018年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間知夫・古谷野拡・松尾喜義・金満伸央
2. 発表標題 光照射が茶樹根系機能に及ぼす影響－生体電位計測による評価
3. 学会等名 第45回根研究集会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 本間知夫・古谷野拡・松尾喜義・金満伸央
2. 発表標題 茶樹根への光照射が根系機能に及ぼす影響－電位計測による評価について
3. 学会等名 日本茶業学会平成28年度研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 本間知夫・井村信弥・石垣圭一・馬場繁幸・渡辺 信
2. 発表標題 マングローブ植物の生体電位の長期計測
3. 学会等名 第22回日本マングローブ学会平成28年度大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 栗原 僚・関 慎太郎・神戸隆介・木下 明・本間知夫
2. 発表標題 根の採取のための桑種子苗のセラミック栽培及び水耕栽培
3. 学会等名 2019年度日本化学会関東支部群馬地区研究交流発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 前橋工科大学編	4. 発行年 2017年
2. 出版社 上毛新聞社	5. 総ページ数 96
3. 書名 前橋工科大学ブックレット2 命を技術する	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>第48回根研究集会の開催と本学院生の発表 http://www.maebashi-it.ac.jp/department/bio/info/news/48.html 2018年度日本化学会関東支部群馬地区研究交流発表会で本学学生が発表しました http://www.maebashi-it.ac.jp/department/bio/info/news/2018_3.html 生物工学専攻及び生物工学科の学生が日本化学会関東支部群馬地区研究交流発表会で成果発表を行いました https://www.maebashi-it.ac.jp/department/bio/info/news/post_27.html 電子広報2019年2月1日号(NO.1621) 暮らしに密着 工科大LABO Vol.5 https://www.city.maebashi.gunma.jp/material/files/group/10/20190201p10-11.pdf</p>

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
研究分担者	門屋 利彦 (Kadoya Toshihiko) (40551875)	前橋工科大学・工学部・教授 (22303)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	金満 伸央 (Kanemitsu Nobuo)		