

# **Root Research**

**Japanese Society for Root Research**

## **第56回根研究集会要旨集**

**2022年9月17-18日 ハイブリッド開催 (九州大学)**

**第31卷 別冊2号  
根の研究  
根研究学会(JSRR)**



## 第 56 回根研究集会 要旨集 (56th Biannual Meeting of JSRR on Site and Line)

<日 時> 2022 年 9 月 17 日 (土) 13:30~17:00

2022 年 9 月 18 日 (日) 08:00~11:00

<場 所> ハイブリッド開催 (オンサイトとオンライン oVice)

九州大学 農学部 附属農場

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 アグリバイオ研究施設・実習棟

最寄りのバス停：九大船舶・航空実験棟駅（伊都キャンパス内）

<プログラム概要> Program

9月 17 日 (土)

13:30- 受付 Registration

14:30-14:35 開会の挨拶 Opening remarks

14:35-17:00 「土壤のできかたとはたらきを探る：考えかたと調べかた」

九州大学土壤学研究室 平館俊太郎先生による招待講演 A・実習  
土壤モノリス作製実習

9月 18 日 (日)

08:00-10:00 ポスター発表

10:00-10:45 「循環型共生農業プラットフォーム構築のための  
高度人工気象チャンバーシステムの開発」

理化学研究所 光量子制御技術開発チーム和田智之先生 招待講演 B

10:45-11:00 学会賞、優秀発表賞の発表、時期集会の実行委員のご挨拶、閉会

<第 56 回根研究集会実行委員窓口・問合せ先> Contact

九州大学 附属農場 安彦友美

〒819-0395 福岡市西区元岡744 アグリバイオ研究施設

E-mail: abiko.tomomi.185@m.kyushu-u.ac.jp

Kyushu University, University Farm, Tomomi Abiko Agri-Bio, 744, Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan



## 口頭発表、ポスター発表スケジュール

## 2022年9月17日(土)

13:30-	受付
14:30-14:35	開会・会長の挨拶(千葉大学 中野明正 根研究学会会長)
14:35-17:00	招待講演A「土壤のできかたとはたらきを探る：考えかたと調べかた」 九州大学 大学院農学研究院土壤学研究室 教授 平館俊太郎先生 土壤モノリス作製実演 oVice Live配信

## 2022年9月18日(日)

\*:Onsite, ★優秀発表賞エントリー

ポスター発表	Room A	Room B	Room C	Room D	Room E
8:00-8:30	A-1	B-1★	C-1★	D-1★	E-1★
8:30-9:00	A-2	B-2	C-2★	D-2★	E-2★
9:00-9:30	A-3★	B-3	C-3	D-3★	E-3★
9:30-10:00	A-4★		C-4★	D-4★	E-4
10:00-10:45	招待講演B「循環型共生農業プラットフォーム構築のための高度人工気象チャンバーシステムの開発」理化学研究所 光量子制御技術開発チーム チームリーダー 和田智之先生				
10:45-11:00	受賞者など発表 次期集会の実行委員のご挨拶 閉会				

## ポスター発表

## A-1 培地被覆フィルムの形状がチュウゴクグリ緑枝挿し穂の発根に及ぼす影響

黒田英明<sup>1)</sup>・渡邊圭太<sup>1)</sup>・鉄村琢哉<sup>2)</sup> (1) 兵庫県立農林水産技術総合センター, (2) 宮崎大学農学部)

## A-2 ヒノキの落ち根特性

吉田巖<sup>1)</sup>・土居龍成<sup>1)</sup>・和田竜征<sup>1)</sup>・谷川東子<sup>2)</sup>・平野恭弘<sup>1)</sup> (1) 名古屋大学大学院環境学研究科, (2) 名古屋大学大学院生命農学研究科)

## A-3 同一環境下で生育した異なる産地由来のスギ細根形態の比較

★仲畑了<sup>1,2)</sup>・東若菜<sup>2,3)</sup>・田邊智子<sup>2,4)</sup>・河合清定<sup>5)</sup>・日浦勉<sup>1)</sup> (1) 東京大学大学院農学生命科学研究科, (2) 京都大学大学院農学研究科, (3) 神戸大学大学院農学研究科, (4) 京都大学大学院地球環境学舎, (5) 国際農林水産業研究センター)

A-4 塩ストレス初期段階における耐塩性オオムギ K305 の根水透過性 ( $L_p$ ) 下方制御とオオ



ムギアクアポリン HvPIP2;1 のリン酸化の解析

★大西亜耶<sup>1)</sup>・且原真木<sup>1)</sup> (1) 岡山大学資源植物科学研究所 (IPSR))

**B-1** 水耕栽培における超音波霧化処理が養液濃度に与える影響

★Regina Ancilla Natasya・趙鉄軍・浅野亮樹  
(新潟食料農業大学食料産業学部食料産業学科)

**B-2** 深層学習を用いた二種の細根自動抽出ソフトウェアの評価

山形拓人<sup>1)</sup>・池野英利<sup>2)</sup>・木村敏文<sup>1)</sup>・磯川悌次郎<sup>3)</sup>・岡本祐樹<sup>4)</sup>・大橋瑞江<sup>1)</sup>

(<sup>1</sup>) 兵庫県立大学環境人間学部, <sup>2</sup> 福知山公立大学情報学部, <sup>3</sup> 兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>4</sup> 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科)

**B-3** 電子スピノ共鳴法 (ESR) による根から生じる活性酸素種の測定

蔭西知子・陽川憲 (北見工業大学工学部)

**C-1** 茎プロッコリーの摘心による地上部および地下部の形態の経時的変化

★佐竹文<sup>1)</sup>・岡田和樹<sup>1)</sup>・元木悟<sup>2)</sup> (<sup>1</sup>明治大学大学院農学研究科, <sup>2</sup>明治大学農学部)

**C-2** 根長解析システム (WinRHIZO) を用いたアスパラガス 2 品種の根系分布の推定 ★岡

田和樹<sup>1)</sup>・佐竹文<sup>1)</sup>・元木悟<sup>2)</sup> (<sup>1</sup>明治大学大学院農学研究科, <sup>2</sup>明治大学農学部)

**C-3** シロイヌナズナにおけるストロンチウムによる根の細胞死

長田武・新井将生 (摂南大学理工学部生命科学科)

**C-4** 非生物的ストレス条件下におけるネギ類バイオリソースの根部代謝物網羅解析

★田中僚太郎<sup>1)</sup>・松永幸子<sup>2, 6)</sup>・Abdelrahman Mostafa<sup>3)</sup>・辻本壽<sup>4)</sup>・執行正義<sup>5)</sup>・平田翔<sup>1)</sup>  
(<sup>1</sup>九州大学大学院農学研究院, <sup>2</sup>鳥取大学大学院連合農学研究科, <sup>3</sup>ガララ大学理学部, <sup>4</sup>鳥取大学乾地研, <sup>5</sup>山口大学大学院創成科学研究科, <sup>6</sup>東京大学大学院農学生命科学研究科)

**D-1** Control mechanisms of promoted root development by *our1* mutation in rice

★Dong Yihao<sup>1)</sup>・Cornelius M. Wainaina<sup>2)</sup>・Ryosuke Akahoshi<sup>1)</sup>・Tsubasa Kawai<sup>3)</sup>・  
Yoshiaki Inukai<sup>2)</sup> (<sup>1</sup> Grad. Sch. Bioagr., Nagoya U., <sup>2</sup> ICREA, Nagoya U., <sup>3</sup> Inst. Crop.  
Sci., NARO)

**D-2** 過湿土壤で増加するアンモニアはイネの酸素漏出バリア形成に影響するか?



★江岸祐夏・塩野克宏(福井県立大学大学院生物資源研究科)

**D-3** Effect of rhizosphere root oxygen deficiency on root distribution and oxygen concentration profiles in maize and rice ★Phanthasin Khanthavong<sup>1,3)</sup> • Shotaro Tamaru<sup>1)</sup> • Shin Yabuta<sup>2)</sup> • Jun-Ichi Sakagami<sup>1,2)</sup> (1)The United Graduate School of Agricultural Science, Kagoshima University, (2) Faculty of Agriculture, Kagoshima University, (3) National Agriculture and Forestry Research Institute (NAFRI), Dong Dok, Ban Nongviengkham, Vientiane 7170, Laos)

**D-4** Effect of P-dipping priming on roots of NERICA 4 to withstand drought and nutrient stress under rainfed lowland ★Emmanuel Odama<sup>1, 2)</sup> • Yasuhiro Tsujimoto<sup>3)</sup> • Shin Yabuta<sup>4)</sup> • Isao Akagi<sup>4)</sup> • Jun-Ichi Sakagami<sup>4)</sup> (1)The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Japan, (2) Abi Zonal Agricultural Research and Development Institute, Arua City, Uganda, (3) Crop, Livestock and Environment Division, JIRCAS, Japan, (4) Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Japan)

**E-1** キビおよびショクビエの根への低酸素ストレスが根形態と地上部特性に及ぼす影響 ★  
田丸翔太郎<sup>1)</sup> • 勝濱直椰<sup>2)</sup> • 後藤啓太<sup>1)</sup> • 篠田伸<sup>3)</sup> • 坂上潤一<sup>3)</sup> (1) 鹿児島大学大学院連合農学研究科, (2) 鹿児島大学大学院農林水産学研究科, (3) 鹿児島大学農学部

**E-2** Deep-Place fertilization facilitates nutrient uptake by inducing root growth to fertilizer in rice ★Mumtahina Nabila<sup>1)</sup>, Aozora Moriwaki<sup>2)</sup>, Keigo Yoshinaga<sup>2)</sup>, Aya Matsuoka<sup>3)</sup>, Hiroyuki Shimono<sup>2)</sup>, Maya Matsunami<sup>2)</sup> (1) United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, (2) Faculty of Agriculture, Iwate University, (3) Graduate School of Arts and Sciences, Iwate University)

**E-3** マルチ資材の利用が生育初期におけるササゲの根系形成に及ぼす影響  
★平川翔唯<sup>1)</sup> • 塩津文隆<sup>2)</sup> (1) 明治大学大学院農学研究科, (2) 明治大学農学部)

**E-4** ササゲ(*Viguna unguiculata*)において VuCLE25 ペプチドは根伸長と乾燥応答を調節する 添石浩太<sup>1)</sup> • 石井孝佳<sup>2)</sup> • 湯浅高志<sup>1)</sup> (1) 宮崎大学農学部, (2) 鳥取大学乾燥地研究センター)



根 研 究 学 会 Japanese Society for Root Research (JSRR)

## 招待講演 A

### 土壤のできかたとはたらきを探る：考え方と調べかた

平館俊太郎\*

九州大学大学院農学研究院

\*連絡先 (hiradate@agr.kyushu-u.ac.jp)

私たちの足下にあり、存在することが当たり前すぎて普段は気にもかけない土壤。しかし、そこではとてもない数の生物が実にさまざまな生命活動を営んでおり、それに伴って物質循環が起こり、結果的に水が浄化され、地球大気の成分組成が安定化され、生物多様性が維持され、私たちに食料を供給するなど、地球システム全体の健全性を支える非常に重要な機能を担っています。このような機能は、岩石を砕いただけの粉体では担うことはできません。岩石が長い時間をかけて風化とさまざまな土壤生成作用を受け、その構造が物理的・化学的に改変され、さらに生命活動に由来する有機物を取り込んで、その結果はじめてこのような機能豊かな土壤ができるのです。この講演では、土壤の生成のしかたと機能について、その基本的な考え方と調査方法について解説します。



## 招待講演 B

## 循環型共生農業プラットフォーム構築のための高度人工気象チャンバーシステムの開発

和田智之<sup>1)</sup>・斎藤徳人<sup>1)</sup>・坂下亨雄<sup>1)</sup>・松山智樹<sup>1)</sup>・湯本正樹<sup>1)</sup>・小川貴代<sup>1)</sup>

理化学研究所 光量子工学研究センター 光量子制御技術開発チーム

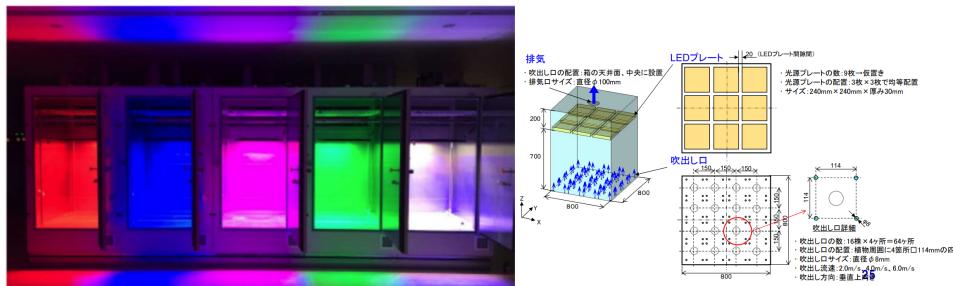
\*連絡先 (swada@riken.jp)

我が国は、多くの社会課題を抱えている。医療や介護、エネルギー、食糧など国家の基盤となる分野が揺らいでいるのが現状である。理研の我々のチームは、光技術を利用してこれらの社会課題の解決に向けた研究に取り組んでいる。農業分野は、食料確保という意味だけではなく、カーボンニュートラル、有機農業など新たな課題が起り、非常に重要な分野となっている。我々のチームは、理化学研究所内だけではなく、静岡県、慶應義塾大学と連携して、AOI-Parc と呼ばれている研究センターを静岡県に設立し、現場に直結した最先端の技術を導入した研究開発を推進している。コアとなる設備の一つが、次世代栽培システムである。

図 1 に AOI-Parc の次世代栽培システムを設置した実験室の様子を示す。4 つのタイプの栽培システムを配置している。システムは、光や、水耕、土耕、温度、湿度、ガス成分や気流の流れが制御できるシステムになっている。本システムは、直物工場のレシピの開発や、環境の制御による機能性成分を多量に含んだ野菜つくりの研究に利用されている。また、環境を制御できる特徴を生かし、地球温暖化に伴う気象変動に対する農作物の育成状態の変化に関する研究も推進している。こうした次世代栽培システムを利用した研究の中で、特に、土壤を対象とした研究が着目されている。我々のチームは、土壤を対象とした研究のため、新たな次世代栽培システムの開発推進している。本講演では、我々の開発しているシステムの概要と特徴を主に報告する。図 2 に次世代栽培システムにおいて光の条件を変えている様子を示す。



第1図 次世代栽培システム配置図



第2図 次世代栽培システム



## 学術功労賞

### 農耕地土壤の保全的表層管理と作物の根系発育および生育・収量との関係

辻博之\*

農研機構・北海道農業研究センター

\*連絡先 (tuzihiro@affrc.go.jp)

演者は、不耕起栽培やカバーコーリップ等を用いた保全的表層管理下における作物の根系発達と生育初期の養分吸収等に着目し、その反応を明らかにする研究に取り組むとともに、作物根の発育、根圏環境およびそれらに起因する生理生態学的な知見を、火山灰畑を中心とした作物生産技術に活用すべく研究・開発を行ってきた。本日はその一端を紹介する。

#### 1) 耕起法が根系の発達ならびに作物の生育に及ぼす影響

不耕起栽培技術が作物の生育、特に根の発育に及ぼす影響に着目して研究を進めた。不耕起栽培では根の伸長角度が浅くなり、側根の発生が促進されていることが明らかとなった。これらの不耕起栽培による根系の変化と表層からの養水分吸収の促進が、作物の初期生育の促進に寄与することが明らかとなった。このような初期生育の促進が陸稲の干ばつ害の回避に寄与することなどが明らかとなった。

#### 2) 耕起方法や輪作方法が根圏を含む土壤環境に及ぼす影響

不耕起栽培などの保全的耕起やカバーコーリップなどによる表層管理は、作物の根圏・根域の環境に影響を及ぼすことは以前より知られていた。演者は北海道において多様な分野の研究者と協力し、保全的耕起が土壤炭素の蓄積や温室効果ガスの発生に及ぼす影響の定量化、耕起の頻度と被覆の有無が土壤中の動物相に及ぼす影響、雑草の根量が有害センチュウの密度に及ぼす影響等を明らかにすることに貢献した。

#### 3) 北海道における作物生産技術開発に活かす根研究(根へのこだわり)

①根を指標に技術を評価する: 春播きコムギの初冬播き(散播)栽培では、融雪直後にコムギが地中で発芽している、あるいは、地表面で出芽した場合には雪の中で種子根を2本以上地中に貫入させていることが、春以降の生存の条件であることを明らかにした。これを指標として、散播播種技術の改良を進めた。

②根の伸び方に合わせて肥料を施用する: 露地野菜のタマネギは生育初期に根の伸長が遅く側根の発達が少ないため、リン酸肥沃度を普通作物の適正値から高める(トルオーグ値で60~100 mg/100 g)必要がある。火山性土壤畑においてタマネギを直播栽培するには従来の方法では大量のリン酸資材を投入し土壤を改良する必要があった。そこで、直播タマネギの種子根が真下に伸びること明らかにし、確実に根がリン酸を吸収できる種子の直下にリン酸を局所施用する播種機を開発した。これらにより、畑輪作に導入するタマネギ生産の技術構築に貢献した。

③個体間の干渉作用による根の太り方を予測して栽植密度を決める: テンサイは根を収穫する北海道の重要作物である。テンサイ栽培は省力化が求められており、狭畦(条間 50 cm)の直播栽培と大型機械体系を導入することが有効と考えられたが、適正な栽植密度について国内の知見は少なかった。植物の生育量は個体間の干渉作用の影響を受け、それが個体間の距離の積算値によることに着目し、栽植様式をモデル化してテンサイが多収となる栽植密度を計算した。その栽植密度を採用した現地での実証栽培で慣行(条間 66 cm)に比べて多収が認められ、明らかなコスト削減となることを示した。

謝辞: 以上の研究を共同で進めていただいた皆様、学会賞にご推薦いただいた大門先生、審査いただいた先生方と執行部の皆様、様々なヒントを与えていただいた根研究学会の皆様に心より御礼申し上げます。



## 学術奨励賞

## 作物の根系解析を効率化・高度化するための技術開発

寺本翔太\*

農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門

\*連絡先 (teramotos154@affrc.go.jp)

作物の根系は土中の養水分を吸収するための重要な器官である。根系の違いに起因した養水分の吸収効率の違いや土壤ストレスへの耐性の違いが品種特性となる。言い換えると、根系を改良することができれば、土壤環境や施肥条件に特化した品種を育成することが可能になる。しかしながら、そのためには様々な課題がある。一般的に根系の解析や評価のためには地面の下にある根系を土から掘り出し根のみを洗い出す必要がある。掘り出しや洗い出しは非常に労力がかかり、根系解析を非効率化している。また、根系の太さや長さなどの情報を得る場合、根系のスキャン画像や写真から根系のみを抽出してデータ解析を行う必要があるが、それらの解析に長い時間を要する。さらに、土から掘り起こす破壊的な解析手法は、土中の根の3次元的な分布の情報を破壊し経時的な根系の解析を妨げている。私はこれらの課題解決のために、①フィールドにおける省力的な根系収集手法の開発、②塹壕法写真から根系を効率的に抽出するための機械学習モデルの開発、および③研究室内におけるX線CT(Computed Tomography)を用いた根系の非破壊計測プラットホームの開発を行った。

① フィールドにおける省力的な根系収集手法の開発:モノリス法は、土中に角筒もしくは円筒状の器具(モノリス)を打ち込み、筒内部の根系を土壤ごと収集する手法である。シャベルなどを用いて根系を掘り起こす簡便な手法に比べ、一定体積中の根系を収集できるがモノリスの大きさに比例して作業の労力が増大する。私は、バックホーを用いることによりモノリスを用いた根系収集を省力化した(Teramoto et al. Breeding Sci 2019)。鉄製の円筒モノリス(直径20cm、高さ30cm)を深さ25cmまでバックホーで打ち込み、フックを繋いでバックホーで引き上げ根系を収集できることを示した。本手法を用いて農研機構が整備する世界のイネ(*Oryza sativa*)コアコレクション(WRC)57品種を含む集団の根系を網羅的に収集し、根系解析ソフトWinRhizoを用いることにより、WRC根系の多様性を評価できた(Kawakatsu et al. 2021 Plant J.)。

② 塹壕法写真から根系を効率的に抽出するための機械学習モデルの開発:塹壕法は、株際の土をショベルカーなどによって垂直に削り、断面に露出した根から土壤中の根の分布を評価する手法である。分布の測定には様々な手法が用いられるが、私はフィールドでの労力が少ない写真を用いた測定法の省力化を試みた。この手法では、断面に露出した根を写真で撮影し、研究室に持ち帰り画像解析により根系の分布を測定する。従来、写真データの上に透明なレイヤーを重ね、レイヤーの上から根をトレースすることにより根系の分布情報を得た。しかしながら、このやり方はすべて人力で行われるため非常に労力がかかり、トレースの品質が安定しない。省力化・一定のトレース品質を維持するためには機械学習を用いた画一的な根のセグメンテーションが有効と考え、以下の機械学習モデルを作成した。セグメンテーション用モデルであるU-Net(Ronneberger et al. MICCAI 2015)を、塹壕法写真と人力で作成したトレース画像のペアを教師データとして学習した。フィールドで撮影した写真は光度、光質、土質などが均一でないため、教師データの塹壕法写真は明るさ、コントラスト、色相をランダムに変化させて学習させた。学習させたモデルにより、WRC57品種を含む集団の根系を塹壕法



により網羅的に解析することができ、WRC 根系の多様性を評価できた (Teramoto et al. 2020 Plant Phenomics). 学習済みモデルおよびソースコードは TrenchRoot-SEG として GitHub に公開しており、誰でも利用可能である (<https://github.com/st707311g/TrenchRoot-SEG>).

**③ 研究室内における X 線 CT を用いた根系の非破壊計測プラットホームの確立:** X 線 CT は栽培ポットを様々な角度から非破壊で撮影することにより、ポットの 3 次元画像を再構成し土中の根系の経時的な解析を可能とする。しかしながら、CT 画像から根系の情報を定量化するためには、CT 画像から根系の画像のみを抽出し、形の情報であるベクトル（根系を線の集合とみなし、線の繋がり方で根系を示す体系）へ変換する必要がある。私はこの課題を解決するため、根系可視化ソフトウェア RSAvis3D (Teramoto et al. 2020 Plant Methods) および根系ベクトル化ソフトウェア RSAtrace3D (Teramoto et al. 2021 BMC Plant Biol) を開発した。RSAvis3D は 3D メディアンにより 3 次元画像からノイズを軽減し、エッジ抽出により根系を抽出する。計算がシンプルであるため数分で CT 画像から根系を抽出することができる。RSAtrace3D はノード（接合点）をソフトウェア画面上で登録することにより、RSAvis3D で抽出した根系をベクトル化する。ノード間を線で結ぶことにより、単子葉植物の根系を半自動的にベクトル化できる。ベクトル化された情報から、根系の形を定量化することが可能となった。RSAvis3D および RSAtrace3D のソースコードは GitHub に公開しており、誰でも利用可能である (<https://github.com/st707311g/RSAvis3D>, <https://github.com/st707311g/RSAtrace3D>).

本発表では、根系を解析する上での 3 つの課題（根系を収集する作業の省力化、根系のデータ解析の効率化、非破壊計測）を解決するために私が取り組んだ研究を紹介した。根系の解析は労力がかかり非効率なことが多いが、本発表で紹介したような技術開発を通じて根系の重要な形質を効率的に計測できるようになり、根系の研究推進に役立つと期待される。本研究は、JST CREST (JPMJCR17O1) の支援を受けたものである。



## 学術特別賞

### 次世代シーケンサーを活用したDNAメタバーコーディングによる 島根県大根島オタネニンジン栽培圃場における土壤微生物相の経年変化の解析

藤井太一<sup>1)</sup>・南基泰<sup>1)</sup>・市橋泰範<sup>2)</sup>・佐藤 匠<sup>2)</sup>・熊石 妃恵<sup>2)</sup>・渡部卓也<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>中部大学応用生物学研究科, <sup>2)</sup>理化学研究所バイオリソース研究センター植物-微生物共生研究開発チーム, <sup>3)</sup>由志園アグリファーム株式会社

\*連絡先(fujii\_t@isc.chubu.ac.jp)

薬用植物オタネニンジン(通名:朝鮮人参, 高麗人参, *Panax ginseng*, ウコギ科)は、わが国で江戸時代から栽培されている伝統的な作物であり、近年の国際的な需要の増加についても考慮すると、医薬品としてだけでなく、文化的及び産業的にも重要な薬用植物である。しかし、5~6年という長期間の栽培が必要であり手間とコストがかかり、同じ圃場で長期間栽培すると連作障害が発生するといった問題がある。そのため、常に新たな圃場を開拓・整備する必要があり、人的労力及び環境負荷が大きい薬用植物である。連作障害の原因については土壤微生物相が関与していると示唆されており、オタネニンジン圃場における土壤微生物相解析の先行研究では、中国におけるPCR-DGGEを活用した事例が報告されている(Xiao et al., J. Ginseng Res., 40(1):28–37, 2016)。しかし、PCR-DGGEは、すべての土壤微生物を網羅できないため、土壤微生物相の詳細な変動については未だ不明である。また、Xiao et al., J. Ginseng Res., 40(1):28–37 (2016) の報告には栽培圃場の管理手法についての説明がないため、実用化栽培への応用は困難である。また、アーバスキュラー菌根菌(AM菌)はオタネニンジンの成長促進や病原性耐性への効果が示されているが(Cho et al., Sci. Hortic., 122(4):633–637, 2009)，国内の栽培圃場における研究報告は皆無である。そのため、日本国内における伝統的栽培手法を行う圃場での土壤微生物相の解明やその経年変化を解析することは、安定的な栽培手法解明のための基礎的なデータとなると考えられる。近年、次世代シーケンサー(NGS)を活用したDNAメタバーコーディング技術は、水中、土壤中の詳細な微生物相解析に必要不可欠なツールとなっている。しかし、DNAメタバーコーディングを用いたオタネニンジン栽培圃場の土壤微生物相解析はこれまで実施されていない。本研究では、栽培履歴が明らかな由志園アグリファーム株式会社が管理する日本の伝統的栽培と土壤殺菌剤等の農薬を活用したオタネニンジン栽培圃場(島根県大根島)において、DNAメタバーコーディング手法を活用した土壤微生物相およびその経年変化の解析を実施した(Fujii et al., J. Nat. Med, 75:1067-1079, 2021)。

圃場の土サンプルを採取した島根県大根島は面積約6.78km<sup>2</sup>の火山島であり、土壤タイプはオタネニンジン栽培に適する黒ボク土である。圃場はオタネニンジンを播種する前にムギを数年の間栽培し、土壤にすき込みを行っている。播種年度には春先に石灰窒素を施用後、ダゾメットで土壤消毒を行った後、12月の播種までに数回耕起されている。播種から15カ月後の苗は一度圃場から掘り起こし、苗の品質を確認した後で3月に別の圃場に移植している。これらオタネニンジン栽培は栽培畑全体を遮光屋根(傾斜35~45°)と竹垣(高さ1.5~2m)で囲い、直射日光、雨、風から保護している。本研究では、栽培直前の圃場から、5年間栽培された圃場までの土をサンプリングした。採取した土からDNAを抽出し、細菌相の解析には16S rRNA領域、真菌相の解析には28S rRNA領域を用いてDNAメタバーコーディング解析を実施した。HTSから出力された基配列の処理にはdada2パイプラインを活用してASV配列を取得した。これらASV配列の分類決定には



Claident v0.2.2018.05.29 に実装された `clidentseq` コマンドと `classigntax` コマンドを用いて, `semiall_genus` データベースを参考に分類群を同定した (Tanabe and Toju, PLoS ONE, 10:e76910, 2013). その後, 既報および日本の植物病害データベースを参考にオタネニンジン病原性微生物の有無について推定した. また, 微生物相の経年変化に関しては, Bray-Curtis 指数を基に, 各土サンプル間での微生物相の類似度を算出し, これらのデータを基にデンドrogramを構築した.

島根県大根島におけるオタネニンジン圃場の微生物相解析の結果, オタネニンジンの病気の原因と報告されている 20 種類の病原性微生物は本研究を行った圃場からは未検出であった. これは日本の伝統的栽培と土壤殺菌剤等の農薬を併用する栽培手法の有効性を示している. 一方で, タマネギ根腐れ病の原因菌やイネの立枯病などの病原菌を多く内包する *Betaproteobacteria* (ベータプロテオバクテリア綱) が多く検出されていた. そのため, この菌がオタネニンジンへ与える影響について検討する必要があるかもしれない. また, オタネニンジン栽培前に実施している圃場殺菌によって, AM 菌も殺菌していることが示唆された. 栽培初期に見られなかった AM 菌が栽培後期には検出されていることを考えると, 栽培初期における成長促進や病原耐性への AM 菌摂取効果が期待される. 細菌相, 真菌相に関して, 経年変化に伴う変動について調査した結果, 真菌相は栽培期歴との相関は確認できず, その一方で細菌相の経年変化は真菌相と比較して栽培期間に対応した変動をしており, オタネニンジンの栽培は細菌相に強く影響する可能性が示された. これは, 細菌相の理解が栽培に関しての重要な指標となる可能性を示している.

これらの結果より, 本研究をさらに発展させることで, 病原菌の発生しにくい圃場管理手法や, 病原菌の早期発見技術に貢献できると考えられる. この様に本研究は, 医薬品としてだけでなく, 伝統的価値を有するオタネニンジン栽培の安定化, 効率化に向けた基礎データを掲示しており, 様々な栽培手法改善にむけた発展に寄与するデータの開示に貢献している. 本研究結果は, オタネニンジン栽培技術への将来的な研究開発に大きく寄与すると考えられる. 本手法はオタネニンジン以外の作物でも実施可能な技術である. そのため, 栽培に多数の年月を有し, これまで経験則的に土壤微生物相との関連が示唆してきた他の薬用植物の栽培への応用も期待できる.

## 培地被覆フィルムの形状がチュウゴクグリ緑枝挿し穂の発根に及ぼす影響

黒田英明<sup>1)</sup>・渡邊圭太<sup>1)</sup>・鉄村琢哉<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター, <sup>2)</sup>宮崎大学農学部

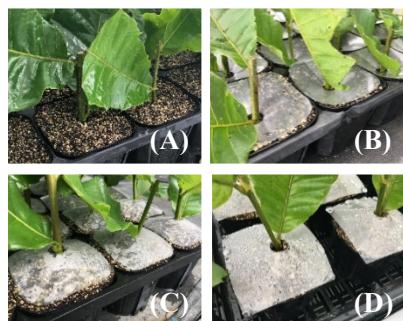
\*連絡先 (Hideaki\_Kuroda@pref.hyogo.lg.jp)

**[目的]** 挿し穂に適した培地水分は、挿し穂の蒸散や挿し穂基部の変化とともに、挿し穂自身の要求度が異なってくる（町田, 1974）。筆者らはクリ穂木品種の耐凍性を高めるチュウゴクグリ台木 No.345 および No.337 を場内選抜し（以下、No.345 および 337）、それらの最適な挿し木繁殖条件を検討している。ミスト繁殖法において、挿し床に噴射されたミストは、挿し穂に触れて水滴となって流れたり、直接培地に到達したりして、培地水分の偏りが生じていると考えられる。この度、形状の異なる培地被覆処理で挿し木し、発根に及ぼす影響を検討した。

**[材料および方法]** No.345 および 337 の母樹から 2022 年 6 月 7 日に新梢を採取し、各新梢を長さ約 10 cm に切り分け、挿し穂とした。挿し穂は基部の葉を切除し、先端の 2 葉が約 50 cm<sup>2</sup> になるように調整した。培地被覆フィルム（以下、フィルム）は、0.2 mm 厚のポリプロピレンシートを一辺が 7 cm（小）と 9 cm（大）の 2 種類の正五角形（中央に直径 1.5 cm の穴）に切り取り、頂点から中央へ 1 か所切り込み、切り込みの左右一辺同士を重ねて立体（四角錐台）加工した。培土（メトロミックス 360）を入れた 0.3 L ポット（一辆 8 cm）の土表面に加工フィルム（被覆なし（A）、凹フィルム小区（B）、凸フィルム小区（C）、凸フィルム大区（D））を設置（第1図）し、各ポットに穂を一本ずつ挿し、繁殖室内に置いた。繁殖室はミスト装置を使用し、温度 40°C 以下、相対湿度 80% 以上に制御したハウス内に設置した。実験は各区 12 ポットを供試し、挿し木 2 か月後に発根状況を調査した。また、植物体の無いポットで各区の培地中心部（直径 3 cm）と周縁部の培地水分率を、ミスト停止 3 分後に計測した。

**[結果および考察]** 凸大区の挿し穂の生存率や発根率は両系統とも優れていた（第1表）。凹小区の発根本数は両系統とも無処理区よりも多かったが、総根長は短かった。凸小区の各調査結果は、他のフィルム処理の中間値を示した。培地水分率はいずれも中心部よりも周縁部が約 1% 低く、各区においては、凸大が最も低く、凸小 < 無処理 < 凹小の傾向を示した（データ略）。以上の結果から、発根現象を根原体の発現と不定根の発達に分けて考えると、根原体の発現と不定根の発達に適した水分率は異なり、前者の方が高い水分が必要で、培地水分に対する反応は、系統による差異があることが示唆された。培地被覆フィルムは、培地水分の偏りを生み出し、発根率の向上や根量を増加させる可能性がある。

第1表 培地被覆フィルムの形状の違いがチュウゴクグリ緑枝挿し穂の生存率、発根率、発根本数および総根長に及ぼす影響（2022年）



第1図 培地被覆フィルムの設置状況  
〔左上から、(A) 無処理、(B) 凹フィルム小、(C) 凸フィルム小、(D) 凸フィルム大処理〕

系統名	培地被覆処理	生存率 <sup>z</sup> (%)	発根率 (%)	発根本数 <sup>y</sup> (本)	総根長 <sup>y</sup> (cm)
No.345	凸フィルム大	100	67	2.9	113
	凸フィルム小	100	58	2.9	165
	凹フィルム小	100	58	3.6	293
	無処理	100	42	3.4	356
No.337	凸フィルム大	100	67	3.0	149
	凸フィルム小	92	33	2.8	134
	凹フィルム小	75	33	2.2	56
	無処理	92	50	1.5	116

<sup>z</sup> 插し木 2 か月後、全落葉や新梢組織の褐変が見られなかった挿し穂の割合。

<sup>y</sup> 発根した挿し穂あたりの発根本数や根長の平均値。



## A-2

## ヒノキの落ち根特性

吉田巖<sup>1)</sup>・土居龍成<sup>1)</sup>・和田竜征<sup>1)</sup>・谷川東子<sup>2)</sup>・平野恭弘<sup>\*1)</sup><sup>1)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科

\*連絡先(yhirano@naagoy-u.jp)

樹木の細根は、数か月から数年の寿命をもつ。すなわち、葉でいう「落ち葉」のように、細根は「落ち根」となり、土壤へ投入、還元されていく。落ち葉が土壤へ炭素や養分を還元し、生態系内の物質を循環させるように、落ち根もその循環を駆動させる。落ち根は、特に土壤深層まで新鮮な落ち根を投入することで、その循環に落ち葉とは異なるプロセスで影響を与える。

このような落ち根の動態は、これまで土壤の円筒コアを採取した後に生きた根と枯死根に分けることで、またミニライゾトロンやスキャナなどで撮像し観察することで、明らかにされてきた。前者では、いつ落ちた根か特定できず分解の進んだ枯死根が含まれていること、後者では、落ちた根を直接採取することが技術的に困難、などの短所が指摘されてきた。

そこで私たちは、森林内で樹木から切断されていない細根を、新たに開発した培養器内で生育させ、その培養器内に落ちた根を回収することで、ヒノキについて、落ちたばかりの落ち根を直接採取することに成功した(Yoshida et al. 2022, Ecological Indicator, 142: 109276, DOI : 10.1016/j.ecolind.2022.109276)。

このように直接採取された落ち根を解析することで、1)ヒノキの落ち根は毎月存在すること、2)その量は月ごとに変化するものの、落ち葉の月別変化量と比較すると小さいこと、3)細根のうち先端根の長さよりも短いものが落ちること、分岐位置からだけでなく、分岐した根が途中から落ちていること、などを明らかにした。

本研究で開発された新手法を用いて、樹木の「落ち根」を直接採取することにより、土壤への初期炭素投入量という生態的指標を明らかにできる。このことは、森林生態系の炭素循環における最後のブラックボックスとされる、細根が寄与する炭素循環の評価精度向上につながるであろう。



## 同一環境下で生育した異なる産地由来のスギ細根形態の比較

仲畠了<sup>\*1,2)</sup>・東若菜<sup>2,3)</sup>・田邊智子<sup>2,4)</sup>・河合清定<sup>5)</sup>・日浦勉<sup>1)</sup><sup>1)</sup>東京大学大学院農学生命科学研究科, <sup>2)</sup>京都大学大学院農学研究科, <sup>3)</sup>神戸大学大学院農学研究科, <sup>4)</sup>京都大学大学院地球環境学舎, <sup>5)</sup>国際農林水産業研究センター

\*連絡先(ryo.nkht@gmail.com)

末端根系の形態（直径, Specific root length (SRL) など）は水や栄養塩の吸収能力、輸送能力、寿命、菌根化率などの生理特性と密接に関係するため、根の形態を測ることによって、その樹木の生理的特性を評価することができる。細根形態の変動を規定する要因には環境要因と遺伝要因がある。同じ樹種であっても環境要因の違いによって細根形態特性は可塑的に変化する (e.g. Wada et al. 2019, Plant Soil)。一方で、細根の形態形質は種の進化的な背景にも大きく影響される (e.g. Ma et al. 2018, Nature)。また、スギは日本列島の広範囲に分布し、各産地ごとに遺伝的に分化している (Tsumura et al. 2012, Heredity)。本研究では、根の形態特性がどの程度進化的背景により決定されるのかを知るために、共通圃場で生育した異なる産地由来のスギについて細根形態特性を評価し、地下部の資源獲得戦略における遺伝的要因の影響を明らかにすることを目的とした。本研究で対象とする3産地のスギ(ヤナセスギ、ヨシノスギ、ヤクスギ)について、ヤクスギの地上部成長は有意に低く(Azuma et al. 2022, Ecol. Res.)、ヨシノスギの根滲出物量は高い(Ohta et al. 2019, Plant Soil)ことが先行研究でわかつており、細根形態においてもこれらと関連した遺伝的要因の影響が予測される。

北海道大学和歌山研究林に生育する遺伝的背景の異なる3産地のスギを対象とし、2018年と2019年に、各産地のスギ6個体から個体ごとに2根系、計36根系を採取した。根の次数分けを行い、1次根から4次根までの次数ごとの平均個根長(cm)、平均個根直径(mm)、平均 SRL(単位個根重要当たりの根長;  $m g^{-1}$ )を計測し、次数間の根分岐比(RBR; no. no.<sup>-1</sup>)を算出した。また、根系当たりのSRT(単位重量当たりの根端数; no.  $mg^{-1}$ )とSRTL(単位重量当たりの根端長;  $cm g^{-1}$ )を求めた。個体差を変量効果としたGLMMを用いて、各形態特性の産地間差および次数間差の検定と、個根長-SRL、個根直径-SRLの関係についての解析を行った。

ヤクスギは集団間で1次根の個根長が有意に長く、個根直径が小さかった。次数ごとのSRLは、ヤナセスギ、ヨシノスギでは3-4次根間で有意に異なったが、ヤクスギでは3次根以降で変化がなかった。これは、ヤクスギが他集団に比べて吸収根と輸送根の切り替えをより低次数の根で行っている可能性を示唆している。SRLが寿命と相關することを考えると(e.g. McCormack et al. 2012, New Phytol.)、ヤクスギは寿命の短い根を低次根のみに集中させる、あるいは細い1次根でもSRLを上げないことによって、ターンオーバーにより失われる資源を節約している可能性がある。ヤナセスギは2次根のSRLが1次根と同等に高かった。また、2:3次根におけるRBRは集団間で有意に高く、結果的にSRTも高くなった。これらのことから、ヤナセスギは3集団で最も多く吸収根成長への投資を行っている可能性がある。ヨシノスギは3産地間で中間的な結果を示した。しかし、ヨシノスギの地上部生産はヤナセスギと同等かそれ以上に高い傾向がある(e.g. Azuma et al. 2022, Ecol. Res.)。この高い地上部生産を可能にする地下部の栄養塩獲得能は、根滲出物量を増やし (Ohta et al. 2019, Plant Soil) 根圈土壤の栄養塩環境を改善することにより補償されている可能性がある。このように、同一生育環境下でも、異なる産地由来のスギは、遺伝的背景に基づく異なった資源獲得戦略をもつことが示唆された。

## A-4

### 塩ストレス初期段階における耐塩性オオムギ K305 の根水透過性 ( $L_p_r$ ) 下方制御と オオムギアクアポリン HvPIP2;1 のリン酸化の解析

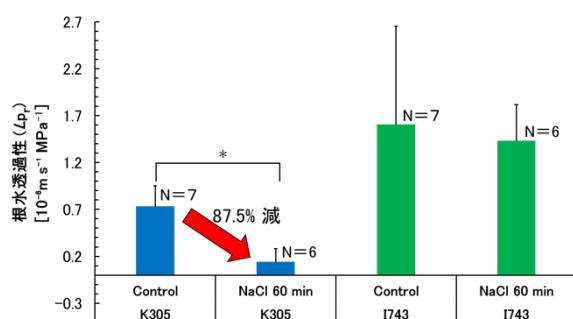
大西亜耶<sup>1)</sup>・且原真木<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>岡山大学資源植物科学研究所 (IPSR)

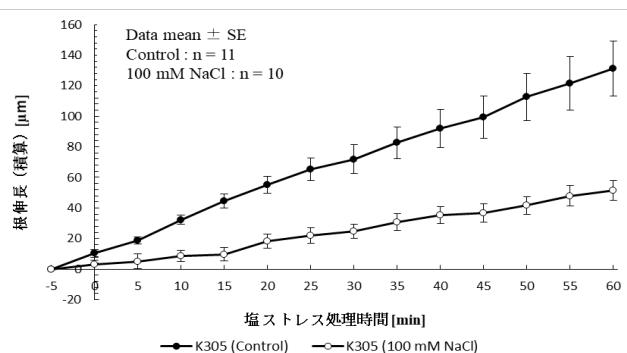
\*連絡先 (p6va53y9@s.okayama-u.ca.jp)

世界規模での食糧不足は人口増加によるところも大きいが、気候変動など環境ストレスによる農作物の収量減少も大きな問題となっている。乾燥地や塩害地などのイオンストレスや水欠乏ストレスは主要な環境ストレスの一つである。植物の環境ストレス応答機構を解明することは、植物の生育が困難な環境に適応できる品種を作出し、食糧の生産を安定化させるために重要であると考えられる。本研究では植物の塩ストレス耐性機構の一端としての耐塩性オオムギ K305 の耐塩性機構を生理学的に明らかにすることを目指した。

プレッシャーチャンバーでの根水透過性 ( $L_p_r$ ) の測定の結果、耐塩性オオムギ K305 では、塩ストレス処理 60 分で  $L_p_r$  が 87.5% 減少した（下方制御された）のに対し、塩感受性系統 I743 では下方制御されなかった（第1図）。プレッシャーチャンバーでの測定では塩ストレス処理 60 分未満の  $L_p_r$  を解析することは困難であったため、顕微鏡を用いて根の伸長を精密測定することで、塩ストレス 60 分以内での  $L_p_r$  の変化を間接的に解明することを試みた。その結果、耐塩性オオムギ K305 では塩ストレス 10 分以内に根の伸長に変化が観察されたことから、10 分の間に何らかの根水透過性制御が行われている可能性があることが示された（第2図）。 $L_p_r$  の下方制御機構を解明するため、細胞内への水の取り込みに関与している原形質局在型 (PIP) アクアポリンのリン酸化レベルの変化を解析した。タンパクのリン酸化を解析できる試薬 Phos-tag を用いてリン酸化レベルの変化を解析したところ、塩ストレス 60 分以内で HvPIP2;1 のリン酸化レベルが変化していることが明らかになった。HvPIP2;1 のリン酸化レベルは塩ストレス 15 分で上昇し、15~60 分間でリン酸化レベルは減少した。このリン酸化レベルの増減が  $L_p_r$  の下方制御にどう関与しているかについては、さらなる研究が必要である。今後アクアポリンのリン酸化部位の特定や、HvPIP2;1 の局在場所の解析を進めて、耐塩性オオムギ K305 における  $L_p_r$  制御の分子機構解明につなげたいと考えている。



第1図. 100 mM NaCl で塩ストレス処理をした時  
の K305 及び I743 の  $L_p_r$  の変化



第2図. K305 の 1 時間の根の伸長量の積算



## 水耕栽培における超音波霧化処理が養液濃度に与える影響

Regina Ancilla Natasya・趙鉄軍\*・浅野亮樹

新潟食料農業大学食料産業学部食料産業学科

\*連絡先 (tiejun-zhao@nafu.ac.jp)

フォグポニックスは、空間の中に植物根を懸下し、霧状の養液を充満させ養分と水分を提供する。近年、高圧ポンプを利用した水噴霧器に代わり、より小さな養液の粒子を発生させる超音波霧発生器の利用が検討されている。超音波霧発生器を用い養液の霧粒子を小さくすることで、根の養分吸収効率を向上させることが期待される。しかし、超音波霧発生器により霧化が、養液の養液分濃度などに与える影響は全く報告がない。この研究の目的は、超音波霧発生器の霧化処理が養液濃度へ与える影響を解明することである。EC=1.0 ds/m, 2.0 ds/m, 3.0 ds/m の3段階に調製した養液(OAT ハウス肥料(OAT アグリ株式会社)をSA処方で配合)をそれぞれ10 Lを作成し、超音波発生器を用いて養液を霧化した。霧化前の養液と霧化後の養液を45 mLずつ採取し、解析を行った。各養液サンプルのECを測定し、窒素(硝酸態)、リン、カリウム、マグネシウム、ヒカルシウムなど栄養塩類の含有量も測定した。その結果、養液の濃度(EC)が高くなると、霧化した養液中の栄養塩類濃度がわずかに低下する傾向が認められた。



## B-2

**深層学習を用いた二種の細根自動抽出ソフトウェアの評価**山形拓人<sup>1)</sup>・池野英利<sup>2)</sup>・木村敏文<sup>1)</sup>・儀川悌次郎<sup>3)</sup>・岡本祐樹<sup>4)</sup>・大橋瑞江<sup>1)</sup><sup>1)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>2)</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>3)</sup>兵庫県立大学大学院工学研究科,<sup>4)</sup>兵庫県立大学大学院環境人間学研究科

\*連絡先(takuff0630@gmail.com)

スキャナ法は土壤に埋設したアクリルボックスにフラットベッドスキャナを挿入しスキャンすることにより,定点で非破壊的に土壤断面画像を連続撮影することができる手法である。この手法では広範囲の土壤断面画像を得ることができ,取得した土壤断面画像の細根の領域を抽出することによって画像中に存在する細根の面積や長さを算出し,細根動態を解析することができる。しかしながら,この手法では手動による細根抽出の工程において膨大な時間を要し,人為的な抽出ミスが生じてしまう。そのため,近年,深層学習を用いた細根自動抽出ソフトウェアが開発されている。これらのソフトウェアでは,撮影画像から細根を手動抽出した結果を学習させることにより,画像中のどの領域に根が存在するのかを自動的に推定することができる。しかし,これらの細根自動抽出ソフトウェアはそれぞれ限られたサイトや植物種でしか評価されてないため,多様なサイトや植物種への汎用性は未だ明らかではない。そこで本研究では,ヒノキ人工林を対象に,「ARATA」と「TrenchRoot-SEG」という二種類の細根自動抽出ソフトウェアにおける細根抽出精度の評価を行った。それぞれの細根自動抽出ソフトウェアで学習および抽出を行い,自動抽出結果と手動抽出結果を比較することにより評価を行った。両ソフトウェアの自動抽出結果と手動抽出結果を目視で比較したところ,おおむね細根の抽出ができていることが確認できた。

**電子スピン共鳴法(ESR)による根から生じる活性酸素種の測定**

蔭西知子・陽川憲\*

北見工業大学工学部

\*連絡先(yokawaken@mail.kitami-it.ac.jp)

環境変化への一次応答シグナルとして知られる活性酸素種は、植物の根においても重要な役割を持つ。よく知られている例として、植物膜上に存在する NADPH オキシダーゼは環境ストレスに応答してスーパーオキシドアニオンラジカル ( $O_2^-$ ) をアポプラストに生じ、細胞内外の重要なシグナルカスケードを引き起こす。ただ、ラジカルである活性酸素種は発生からすぐに他の分子と容易に反応し、短寿命であるため観測が難しいことが知られている。これまでに根の組織に生じた活性酸素生成を間接的に可視化するには、染色法（ニトロブルーテトラゾリウム法など）が比較的良く用いられているが、定量性に乏しい。また、ヒドロキシルラジカル (HO<sup>•</sup>) は活性酸素種の中でも、最も寿命が短く染色で確認する手法が存在しない。本研究では、固体表面や溶液中の不対電子を直接観測出来る電子スピン共鳴法 (ESR) を用いて、根の細胞表面に生じるラジカルの特定を試みた。植物の傷害ストレスの際に細胞外にシグナルとして放出されることで知られる ATP (アデノシン三リン酸) と ADP (アデノシン二リン酸) をシロイヌナズナ根に処理することで、根の表面に生じるヒドロキシルラジカルを測定した。ラジカルの安定化にはスピントラップ剤である 4-POBN ( $\alpha$ -(4-ピリジル  $N$ -オキシド)- $N$ -tert-ブチルニトロン) とエタノールを用いた (Renew et al., Plant J, 2005)。その結果、根の ATP, ADP の感知によるヒドロキシルラジカルの生成が確認された。今回、根の環境応答の際の活性酸素種の ESR による計測の可能性について議論したい。



## 茎プロッコリーの摘心による地上部および地下部の形態の経時的変化

佐竹文<sup>\*1)</sup>・岡田和樹<sup>1)</sup>・元木悟<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>明治大学大学院農学研究科, <sup>2)</sup>明治大学農学部

\*連絡先 (sat621139@gmail.com)

茎プロッコリーは、可食部が側枝由来の細長い茎および小花蕾（以下、側花蕾）の野菜であり、側花蕾の成長を促すため、出蕾して間もない頂花蕾を摘心し、頂芽優勢の解除を図る。肌野ら（2021）は、茎プロッコリーにおいて、摘心によって地下部重が増加したと報告しているものの、地下部重が増加したメカニズムは不明であり、今後、栽培管理を検討するうえで、地下部の形態の経時的变化をより詳細に調査する必要がある。特に、細根は、水や養分などの吸収に重要であり、根長の評価が必要である。そこで本研究では、摘心後の地下部重および根長の変化を経時的に調査し、地上部の生育との関係を解析した。栽培は、明治大学生田キャンパスの露地圃場で行った。栽植様式は、畝幅 150 cm、株間 45 cm および条間 75 cm の 2 条植えとした。試験区は、摘心と無処理の計 2 処理区とし、1 区 3 株を調査した。摘心は、矢越ら（2003）に準じ、頂花蕾が直径 2~3 cm 程度で行った。調査は、摘心時から摘心後 8 週目まで週に 1 度行い、地上部新鮮重、地上部乾物重、葉数、地下部新鮮重および地下部乾物重を測定した。地下部は、地際部で地上部と地下部を分け、スコップを用いて 40 cm 立方で掘り上げた。また、摘心時、摘心後 3 および 6 週目の地下部は、根長解析システム (WinRHIZO) を用いて根長を推定した。根長は、根径が 0.3 mm 未満、0.3 以上 3.6 mm 未満、3.6 以上 6.9 mm 未満および 6.9 mm 以上の 4 クラスに分けて評価した。地上部乾物重は、摘心後 6 週目以降、摘心区が無処理区に比べて有意に重かった。これは、摘心によって頂花蕾が除去され、頂花蕾を除く地上部器官の成長が促進されたためと考える。地下部新鮮重は、摘心区が無処理区と同等か有意に重かった。また、地上部含水率と地下部新鮮重との間に強い負の相関が認められた ( $r = -0.80^{**}$ )。このことから、摘心区において地上部含水率が減少し、水分吸収のため地下部が発達したと考える。摘心区において、根径 0.3 mm 未満および 0.3 以上 3.6 mm 未満の根長は、摘心後 3 週目が 6 週目に比べて長い傾向であった。一方、根径 3.6 以上 6.9 mm 未満および 6.9 mm 以上の根長は、摘心後 6 週目が 3 週目と同等か有意に長かった。地下部新鮮重は、摘心後 6 週目において、摘心区が無処理区に比べて有意に重かったが、これは、摘心区で根径 3.6 mm 以上の根長が増加し続けたことが原因であると考える。また、摘心後 3 週目から 6 週目にかけて細根の根長が減少した原因是、細根が脱落したためと考える。

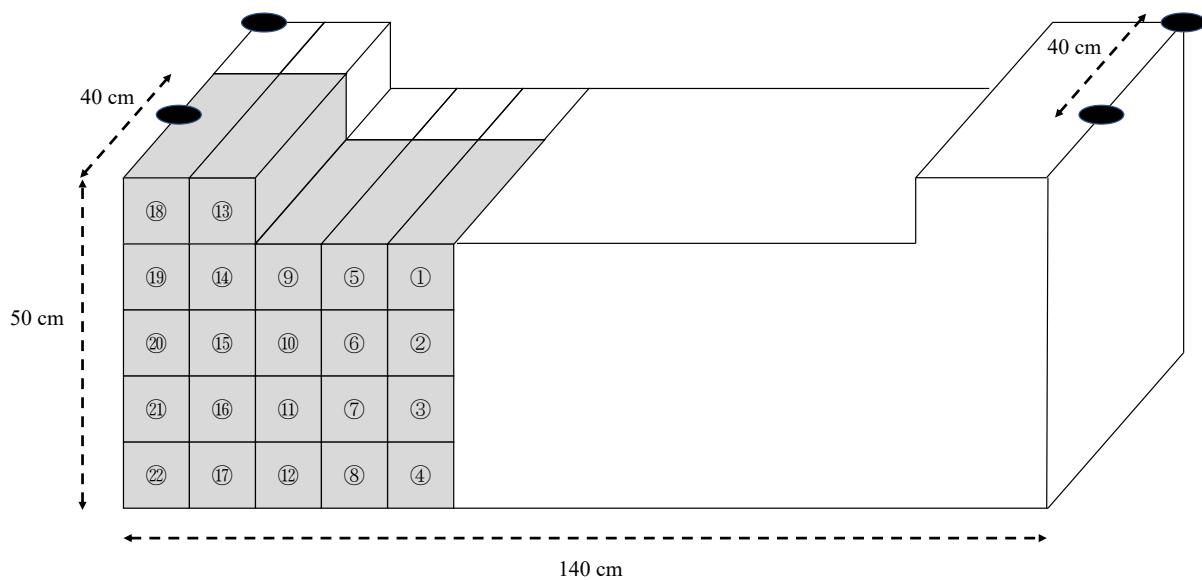
## C-2

## 根長解析システム (WinRHIZO) を用いたアスパラガス 2 品種の根系分布の推定

岡田和樹<sup>1)</sup>・佐竹文<sup>1)</sup>・元木悟<sup>2)</sup><sup>1)</sup>明治大学大学院農学研究科, <sup>2)</sup>明治大学農学部

\*連絡先 (cf210208@meiji.ac.jp)

アスパラガスの 1 年養成株全収穫栽培法「採りつきり栽培」は、収穫 1 年目の增收を図るアスパラガスの露地の新栽培法であり、関東地方を中心に全国に浸透しつつある。ところで、根系分布を知ることは、施肥や灌水などの土壤管理法を確立するうえで極めて重要である。しかし、アスパラガスの 1 年養成株について、根系分布を根長で調査した報告はない。本研究では、採りつきり栽培で栽培したアスパラガス 2 品種の根系分布について、WinRHIZO を用いた根長解析によって推定した。試験は、明治大学生田キャンパス露地圃場（黒ボク土）で栽培したアスパラガス品種‘太宝早生’および‘Patron’を用いて行った。【試験 1】アスパラガスの根長を WinRHIZO で測定する際の最適なスキャン設定を確立することを目的とし、染色の有無、解像度およびイメージタイプの違いが根長の測定結果に及ぼす影響を評価した。【試験 2】根の分布を推定することを目的とし、第 1 図に灰色で示した範囲を  $10 \times 10 \times 40$  cm のモノリスに分割してすべて掘り上げ、各モノリス内の根長を WinRHIZO で測定した。試験 1 より、アスパラガスの根長を WinRHIZO で測定する場合、無染色、400 dpi および 8 bit グレーの設定が最適であった。試験 2 より、黒ボク土では、根長の分布割合について、‘太宝早生’は、深さ 0~20 cm が 24%，20~30 cm が 48%，30~50 cm が 29% であった。一方、‘Patron’は、深さ 0~20 cm が 53%，20~30 cm が 18%，30~50 cm が 29% であり、‘太宝早生’に比べて地表面付近に根が多く分布した。このことから、乾燥ストレスや湿害などは、適切な根系分布の品種を土壤の種類によって選択することにより、リスクを軽減できる可能性がある。



第1図 根のサンプリング位置



## シロイヌナズナにおけるストロンチウムによる根の細胞死

長田武<sup>\*</sup>・新井将生

摂南大学理学部生命科学科

<sup>\*</sup>連絡先 (t-nagata@lif.setsunan.ac.jp)

ストロンチウム (Sr) は土壤中に含まれているアルカリ土類金属の一種で、カルシウム (Ca) などと同族である。また Sr は Ca とイオン半径や化学的性質が類似しており、工業的用途として花火や発炎筒の炎色反応などに用いられる。植物において Ca は必須元素で Sr は非必須元素であるが、Sr と Ca との詳しい関係性についてはまだ解明されていない。これまでに、植物への吸収は土壤 pH と種によって著しく変化することが報告されている。また、ダイズやアマランサスなど幾つかの植物種は Sr イオンの吸収に高い活性を有することも明らかにされている。我々はこれまでに、シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) において Sr 濃度の上昇に従って、地上部への Sr の蓄積が増加するのに対し Ca の蓄積が低下すること、また、根の伸長抑制が生育阻害を受けることを報告している。しかし、Sr による生育阻害、さらには細胞毒性が細胞死を惹き起こしうるかどうかについては不明であった。そこで本研究では、Sr による細胞死が各組織で惹き起こされているか解明することを目的とした。

シロイヌナズナ (Col-0) を Sr 濃度 0, 0.1, 1, 10 mM に調製した寒天培地で 2 週間培養した若苗に、Evans Blue 染色液と植物透明化試薬 TOMEI で処理した。処理後、染色組織を観察した。次に、同様に培養した若苗を地上部と根に切り分け、染色及び透明化処理を行った。処理後、各染色組織を顕微鏡用いて観察した。なお、細胞死を惹き起こすことが報告されている Bi 2 μM をコントロールに用いた。Sr 1 mM 以下の低濃度では、地上部および根のいずれにおいても染色されなかった。そのため Sr 1 mM 以下の低濃度では細胞死が惹き起こされていないと考えられる。しかし Sr 10 mM では、地上部全体、また根でも全体が染色されており、植物個体で細胞死が惹き起こされていると考えられる。特に根のメリistem 領域における染色が観察された。以上のことから、Sr 10 mM では、根の伸長抑制は Sr による細胞死が原因の一つと考えられる。これまでの研究で、地上部において高濃度の Sr 蓄積が観察されており、能動的な Sr 吸収および転流の可能性が示唆されている。これらを合わせると、Sr の吸収によって細胞死が惹き起こされた可能性が考えられるが、その吸収メカニズムは不明である。よって、今後の展望として、遺伝的アプローチを用いて植物における Sr の吸収メカニズムについて解明したいと考えている。

## 非生物的ストレス条件下におけるネギ類バイオリソースの根部代謝物網羅解析

田中僚太郎<sup>1)</sup>・松永幸子<sup>2), 6)</sup>・Abdelrahman Mostafa<sup>3)</sup>・辻本壽<sup>4)</sup>・執行正義<sup>5)</sup>・平田翔<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 九州大学大学院農学研究院, <sup>2)</sup> 鳥取大学大学院連合農学研究科, <sup>3)</sup> ガララ大学理学部,

<sup>4)</sup> 鳥取大学乾地研<sup>5)</sup> 山口大学大学院創成科学研究科, <sup>6)</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

\*連絡先 (hirata.sho.481@m.kyushu-u.ac.jp)

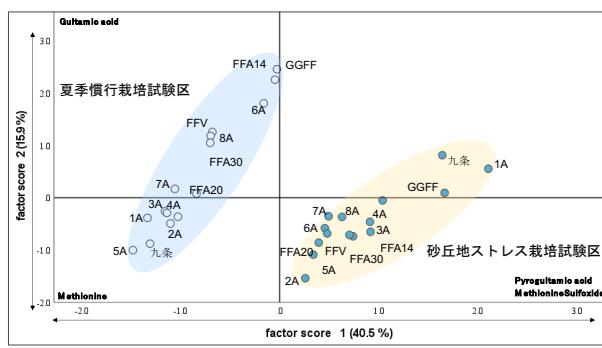
[緒言] ネギ・タマネギ・ニンニクなどのネギ類野菜は、現在世界中で生産される重要な香辛野菜であるが、将来の地球温暖化に伴う異常気象や気候変動などの環境変化に対応可能な新品種の開発が喫緊の課題となっている。本研究では、ネギ類バイオリソースの夏季栽培試験を行い、リソースがもつ非生物的ストレス適応性を根部代謝物の観点から検証したので報告する。

[材料および方法] 植物材料として、ネギ品種‘九条’(*Allium fistulosum*, 2n=16), シヤロット由来單一異種染色体添加ネギ個体8系統(2n=17), ネギ-*A. vavilovii* 異質三倍体系統(2n=24), ネギ-シヤロット異質三倍体系統(2n=24)およびネギ-*A. galunthum* 複二倍体系統(2n=32)を植物材料に用いた。各個体を2020年5月-9月九州大学農学部附属農場において夏季慣行栽培試験を行い、発達した株重量および根部重量を記録した。2021年の5月-9月において同様の個体を鳥取大学乾燥地研究センター内砂丘地ハウスに植付け、灌水量を制御した熱・乾燥ストレス栽培試験を行った。両地点生育時に発達した根部を凍結乾燥後粉末化し、液体クロマトグラフリップル四重極型質量分析計(LC-MS/MS)に供試し、非生物的ストレス遭遇時におけるリソースの代謝物変化を調査した。

[結果および考察] 各系統の根部重量は、砂丘地ストレス栽培時では慣行栽培時に比べ、より発達しており、乾燥層のさらに下の湿潤層にまで到達していた(第1図)。LC-MS/MS分析により、105の標品を基に代謝物の同定・定量を行ったところ、56種類の根部代謝物情報を取得した。主成分分析を行ったところ、いくつかの主成分が抽出され、第一および第二主成分までの累積寄与率は56.5%であった。プロット図を作成したところ、両試験区は離れてプロットされた(第2図)。代謝物の第一主成分の主成分得点をみると、特定のアミノ酸の正の得点が高かった。また、ストレス栽培時における地上部重量と各種代謝物含量の相関をみたところ、メチオニンスルホキシド、ベタイン、プロリン、β-アラニン、グアノシンおよびシチジンとの間に高い正の相関がみられた(それぞれr = 0.4, 0.4, 0.5, 0.5, 0.4および0.4)。以上の結果より、ネギ類植物は非生物的ストレスに対し、根部においてこれら代謝物の蓄積機構を高め、組織の恒常性を保ち環境に適応している可能性が示された。



第1図 ネギ類バイオリソースの収穫時の様子  
(A:根部発達の様子 B:砂丘地乾燥土壤層)



第2図 2試験区におけるネギ類バイオリソースの根部代謝物組成に基づく主成分プロット図



## D- 1

**Control mechanisms of promoted root development by *our1* mutation in rice**Dong Yihao<sup>1)</sup>•Cornelius M. Wainaina<sup>2)</sup>•Ryosuke Akahoshi<sup>1)</sup>•Tsubasa Kawai<sup>3)</sup>•Yoshiaki Inukai<sup>\*2)</sup><sup>1)</sup>Grad. Sch. Bioagr., Nagoya U., <sup>2)</sup>ICREA, Nagoya U., <sup>3)</sup>Inst. Crop. Sci., NARO

\*連絡先 (inukaiy@agr.nagoya-u.ac.jp)

**【Introduction】** A well-developed root system is essential for efficient water uptake, particularly in drought-prone environments. However, the molecular mechanisms underlying the promotion of root development are poorly understood. Previously, we identified and characterized a rice mutant, *outstanding rooting1* (*our1*), which exhibited a well-developed root system (Hasegawa et al., Plant Sci., 2021). The *our1* mutant displayed typical auxin-related phenotypes, including elongated seminal root and defective gravitropism. Seminal root elongation in the *our1* mutant was accelerated via the promotion of cell division and elongation. In addition, compared with the wild type, the density of short and thin lateral roots (S-type LRs) was reduced in the *our1* mutant, whereas that of long and thick LRs (L-type LRs) was increased. Here we would like to discuss the control mechanisms of promoted root development by *our1* mutation in rice.

**【Materials and Methods】** To compare the expression levels of auxin-related and root development-related genes, quantitative real-time PCR (qRT-PCR) was performed using the total RNA extracted from the seminal root of wild-type (WT) and *our1* mutant seedlings. To test the binding of OUR1 to the upstream sequence of the candidate target genes, we performed an electrophoresis mobility shift assay (EMSA) with recombinant OUR1 proteins and Cy5-labeled DNA probes.

**【Results and Discussion】** Compared to WT, expression levels of many auxin responsive genes including root development-related genes were lower in *our1* mutant. However, *OsWOX10* gene that is one of the auxin responsive genes and promotes L-type LR development were clearly up-regulated in *our1* mutant. These results suggest that the increase in the number of L-type LRs in *our1* mutant is promoted by an auxin-independent induction mechanism of *OsWOX10* gene expression.

In addition, we found that one of the auxin efflux carrier genes, *OsPIN*, was also remarkably up-regulated in *our1* mutant. The causal gene isolated from the *our1* mutant encodes a member of the bZIP transcription factor family, which is known as a rice homolog of the *Arabidopsis* HY5 transcription factor. HY5 was originally shown to regulate the transcription of light-inducible genes by directly binding to the *cis*-element, G-box, in their minimal promoters (Gangappa and Botto, Molecular Plant, 2016). In the 1-kb upstream region of the *OsPIN* gene, there is also the G-box sequence. Thus, to test the binding of OUR1 to this candidate sequence, we performed an EMSA and found that the *OsPIN* gene is a potential direct target of OUR1. Through these observations, we are now considering the possible control mechanisms on promoted root development seen in *our1* mutant to get clues for further improvement of root architecture in the future.



## D-2

**過湿土壤で増加するアンモニアはイネの酸素漏出バリア形成に影響するか？**

江岸祐夏\*・塩野克宏

福井県立大学大学院生物資源研究科

\*連絡先 (s2273005@g.fpu.ac.jp)

**【背景】**

過湿状態になった土壤では、酸素濃度が数日以内に低下する。分子状酸素が不足すると、第二段階として、微生物は有機物の酸化分解のために硝酸 ( $\text{NO}_3^-$ ) に含まれる酸素を利用する。硝酸濃度の減少と同時にアンモニア ( $\text{NH}_4^+$ ) の増加がみられる。さらに低酸素状態が継続すると、土壤は還元化し二価マンガンイオンや二価鉄イオンなどの有毒イオンは増加する。イネは耐湿性形質の酸素漏出バリアと通気組織を形成するため、過湿状態の土壤でも生育できる。酸素漏出バリアは、根の基部側からの酸素漏出を抑制し、根端まで十分に酸素を供給することで根の呼吸を支えている。これまでに、酸素漏出バリアの誘導性に関する研究がおこなわれ、過湿土壤で増加する二価鉄イオン (Mongon et al., *Funct Plant Biol* 2014) や有機酸 (Colmer et al., *Plant Cell Environ* 2019) の増加だけでなく、湛水初期に起きる硝酸の減少がバリアを誘導することがわかつてき (塩野ら, 未発表)。同様に湛水初期に増加するアンモニアは、イネのバリアの有力な候補成分であるスペリン化を誘導する (Ranathunge et al., *Planta* 2016) ものの、これまでアンモニアによる酸素漏出バリア形成は評価されていなかった。そこで、本研究では、アンモニアの増減が酸素漏出バリア形成に与える影響を検証した。

**【材料・方法】**

イネ (日本晴品種) を好気的な水耕液で 15 日間生育した後、水耕液中の窒素濃度を変えてそれぞれ 7 日間栽培を継続した (通常栄養区、硝酸欠乏区、アンモニア欠乏区、アンモニア過剰区)。22 日齢のイネをメチレンブルー染色して酸素漏出バリア形成を評価し、バリア形成率を算出した。バリア形成を評価した根の回収後、根の基部、中央部、根端の横断切片を作成し、外皮のスペリン化 (Fluorol Yellow 088 法) と通気組織 (切片法) を観察した。スペリン化した細胞数、通気組織の形成率は、取得した画像から ImageJ を用いて数値化した。

**【結果・考察】**

酸素漏出バリアは通常栄養区ではほとんど形成されなかつた (形成率: 20%) が、硝酸欠乏区ではほぼ全ての根で (形成率: 97%) バリアを形成していた。一方、アンモニアを増加させた時も、減少 (無添加) させた時もバリア形成は誘導されなかつた。このとき、アンモニアの過剰区、減少区ともに外皮のスペリン化は確認されなかつた。通気組織の形成率は、アンモニア過剰区と通常栄養区は同程度で、アンモニア欠乏区で低下していた。このように、アンモニアの増加と減少はバリア形成とスペリン化に影響しなかつた。今回、Ranathunge et al. (*Planta* 2016) の報告にあるような 4 週間のアンモニア増加処理による外皮のスペリン化は確認できなかつた。私たちの処理期間が 1 週間と短かつたことが、スペリン化の誘導の程度に影響したのかもしれない。

**【謝辞】**

本研究の一部は科研費 (16KK0173, 19K05978, 22K05587) の支援を受けて実施された。

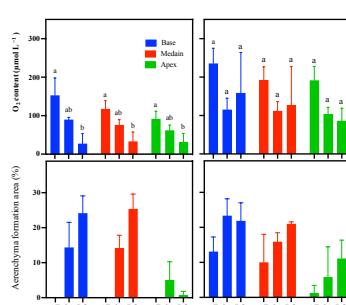
## D-3

**Effect of rhizosphere root oxygen deficiency on root distribution and oxygen concentration profiles in maize and rice**Phanthasin Khanthavong<sup>1,3)</sup> • Shotaro Tamaru<sup>1)</sup> • Shin Yabuta<sup>2)</sup> • Jun-Ichi Sakagami \*<sup>1,2)</sup>1) The United Graduate School of Agricultural Science, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan, 2) Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan, 3)  
National Agriculture and Forestry Research Institute (NAFRI), Dong Dok, Ban

Nongviengkham, Vientiane 7170, Laos

\*連絡先 (sakagami@agri.kagoshima-u.ac.jp)

**Abstract:** Maize grown under waterlogging showing shallow root distribution and poor biomass production compared to rice was evaluated. Aerenchyma is key to enable diffusive oxygen transport to reach the root tip. Both crops share formation aerenchyma (lysigenous), but the ability of diffusive oxygen transport, root distribution of between these crops was not unanswered. Therefore, we compared and examined the characteristics of difference in root elongation under waterlogging conditions from changing oxygen concentrations in the rhizosphere. Maize and rice were grown under aerated (AE), semi-aerated (SA) and deoxygenated (DO). The diffusive oxygen transport in the root was measured by micro-oxygen sensor. Root distribution, root anatomy and shoot biomass was evaluated at 14 days after treatment. Diffusive oxygen transport of maize under DO was lower in the base part of root downward to tip part of root than AE. However, there was no effect of change oxygen concentration on diffusive oxygen transport within each root part in rice. Shoot biomass of maize under DO was significantly lower than AE; whereas there was no significant effect of change oxygen concentrations on reduction of shoot biomass in rice. The root elongation of both crops at lower layer was restricted by (DO). Indeed, we suggested that shallow root distribution was not strategic adaptation of the crops. In conclusion, the ability of diffusive oxygen transport maize was weaker than rice, which caused poor growth in shoot biomass of maize under waterlogging conditions. The ability of high diffusive oxygen transport from aerial parts to reach the tip of root was adaptive strategy of wetland species like rice.



**Figure 1.** The oxygen content and aerenchyma formation in maize (A, C) and rice (B, C) grown under aerated (A), semi-aerated (SA), and deoxygenated (DO). Similar letters within a root base, median, and apex parts for each crop specie did not significantly differ according to Tukey's test at 0.05 probability level.

## D-4

**Effect of P-dipping priming on roots of NERICA 4 to withstand drought and nutrient stress under rainfed lowland**

Emmanuel ODAMA<sup>1), 2)</sup> • Yasuhiro TSUJIMOTO<sup>3)</sup> • Shin YABUTA<sup>4)</sup> • Isao AKAGI<sup>4)</sup> • Jun-Ichi SAKAGAMI<sup>4)\*</sup>

<sup>1)</sup>The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Japan; <sup>2)</sup>Abi Zonal Agricultural Research and Development Institute, Arua City, Uganda; <sup>3)</sup>Crop, Livestock and Environment Division, JIRCAS, Japan; <sup>4)</sup>Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Japan.

\*連絡先: (sakagami@agri.kagoshima-u.ac.jp)

**Introduction**

Drought stress and phosphorus (P) deficiency are both major abiotic factors that limit both upland and lowland rice yields in Sub-Saharan Africa (SSA). There also exists a high interrelation between the soil water status and P availability to rice plants through diffusion, aeration, and sorption. Additionally, water availability is known to have a dominant modifying role on root architecture, which in turn affects P uptake efficiency in both upland and lowland soils. Studies have shown that localized P application accelerates initial P uptake. In this study, we evaluated the root distribution and morphology of rice under combined localized P application or P-dipping and water regimes.

**Materials and Method**

The experiment was conducted in a greenhouse. Root boxes (measuring 40 cm L x 40 cm W x 3 cm H) and NERICA 4 seeds were used for the experiment. The rice was grown in seedling trays for 14 days and transplanted in the root boxes that were filled with 5 kg of soil (1:1 w/w; bulk density 1.2 g cm<sup>-3</sup>). To correct any deficiencies in N and K, the experiment soil in each root box was homogenously mixed with 1.4 g ammonium sulphate and 0.4 g potassium chloride, respectively. Prior to transplanting, the seedling roots were dipped into P-enriched slurry with a range of P concentration rates, that is, 0% for D0, 0.25% for D1, 0.51% for D2, 0.76% for D3 and 1.02% for D4 for 30 minutes. The P-enriched slurry was developed by mixing 45 g of air-dried soil, 14 ml of water, and different amounts of single superphosphate: 0 (D0), 0.65 g (D1), 1.31 g (D2), 1.96 g (D3), and 2.62 g (D4) depending on different P concentrations. A control treatment was set up in the same manner but without P, N, or K applications. Two water regimes, i.e., waterlogging (WL) and moderately dry water condition (MD), were combined with fertilizer treatments with 3 replicates. In the MD treatment, the volumetric water content was reduced to 0.23 m m<sup>-3</sup> from 10 days after transplanting to the end of the experiment. Then root samples were collected using the pin-board method, carefully washed with water, and photographed to determine the root cone angle. The root samples were scanned, and images analyzed for morphology and distribution using the *WinRhizo* software. The root samples were then oven-dried at 80 °C for 48 h to determine the dry weight.

**Results and Discussion**

There was a significant difference ( $P < .001$ ) in the total root length between MD (32.6 m) and WL (25.1 m) water treatments. Though not significantly different, the root length in the P-dipping treatments (D1-D4) under the MD showed an average 11% increase over D0 (where no P-dipping was done). Under the WL treatment, D2 showed the highest average root length increase (22%), and D4 the highest decrease (-14%) over D0. The average root cone angle under the MD moisture condition (102.3°) was significantly narrower ( $P < .00005$ ) than that under the WL condition (158.4°). Analyses of the root distribution between the top (0-20 cm) and bottom (20-40 cm) soil layers in the root boxes showed that in the MD water treatment, there was no significant difference in the root length between the top and bottom soil layers and among the P levels. However, there was a significant difference ( $P < .0004$ ) in the root distribution between the two soil layers under the WL condition, with the higher average root length in the top layer (18.4 m) than the bottom (7.9 m). Root classification results showed that in the MD treatments, only thick lateral roots (TLR, 0.08-0.2 mm) and other bigger-diameter roots developed. However, in the WL treatments, both the TLR and fine lateral roots (0.01-0.08 mm) developed. We think that this root plasticity is a mechanism by which NERICA 4 adapts to water stress. The shallow root development under WL conditions could have been a result of the effect of P-dipping, coupled with the excessively available moisture content; as opposed to the MD condition, where root development was enhanced to survive the water stress conditions. In conclusion, the findings of our study suggest that P-dipping improves NERICA 4 resilience to withstand drought and nutrient stress in rainfed lowland. Some of the root plasticity characteristics to drought stress include development of thick lateral roots, deeper root length, and narrower root cone angel as adaptation mechanisms.

## E-1

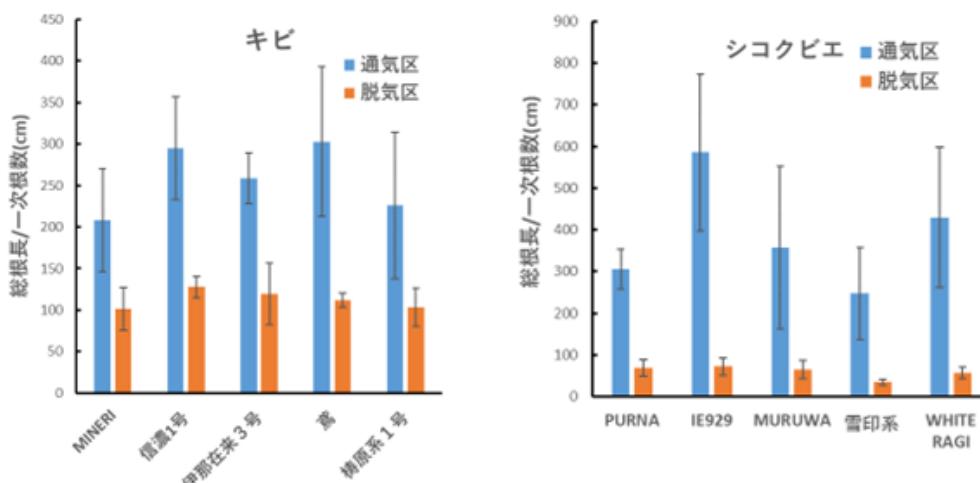
**キビおよびシコクビエの根への低酸素ストレスが根形態と地上部特性に及ぼす影響**田丸翔太郎<sup>1)</sup>・勝濱直榔<sup>2)</sup>・後藤啓太<sup>1)</sup>・簗田伸<sup>3)</sup>・坂上潤一<sup>3)</sup><sup>1)</sup>鹿児島大学大学院連合農学研究科, <sup>2)</sup>鹿児島大学大学院農林水産学研究科, <sup>3)</sup>鹿児島大学農学部

\*連絡先 (k5697087@kadai.jp), 連絡先 (sakagami@agri.kagoshima-u.ac.jp)

**【背景および目的】**イネ科植物は種子植物の一つであり、人間の経済活動や自然界の植物群落の構成において最も重要な役割を担っている。Kono et al. (Japan Journal of Crop Science, 1988) や Matsuura et al (Plant Production Science, 2021) の報告によれば、イネ科植物内の耐湿性や根の低酸素ストレス耐性の種間変異は大きいと考えられ、これらの耐性に関するメカニズムの解明は作物の耐湿性を高める鍵となり得るが、主要作物を除いたイネ科作物への低酸素ストレスの影響に関する知見は限られている。そこで、我々は葉のストレス傷害の程度と地上部および地下部の形態変化に基づき、イネ科作物の低酸素ストレス耐性における種内・種間変異を明らかにすることを目的として研究を行った。本研究集会では、低酸素ストレスに感受的なキビおよびシコクビエの根への低酸素ストレスが、根形態と地上部特性に及ぼす影響について報告する。

**【材料および方法】**キビおよびシコクビエ(品種名は第1図の凡例に記載)の葉齢4-5の植物体を、通気寒天水耕液に6日間馴化させた後に、そのまま生育させた区(通気区)と、窒素ガスによって脱気した水耕液で生育させた区(脱気区)を設け、これらの2水準の区で16日間の処理を継続した。処理開始時から2日おきに葉の最大量子収率( $F_v/F_m$ )およびSPAD値を計測した。処理16日後に地上部は茎数を計測後、80°Cで72時間乾燥させた後に乾物重を測定し、根は50%エタノールに浸漬し、4°Cで保存し、一次根数、総根長、根内部の各組織(全体、表皮、皮層、中心柱、通気組織)の断面積を計測した。

**【結果および考察】** 第1図より、シコクビエはキビと比較して低酸素下で根1本あたりの長さを減少させることが示唆された。この応答は、根の外部からの酸素の供給が制限される環境で、地上部から根端までの酸素の輸送距離を短縮することで根の嫌気代謝を緩和すると推察した。



第1図 通気区および脱気区で生育させたキビとシコクビエの総根長/一次根数

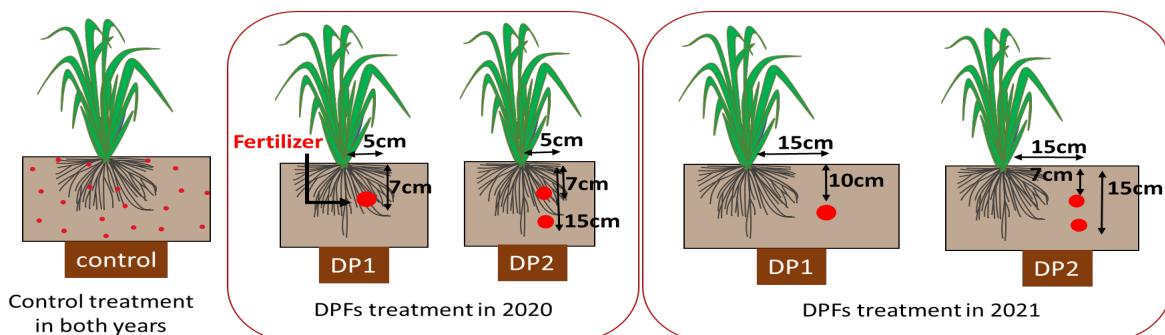
## Deep-Place fertilization facilitates nutrient uptake by inducing root growth to fertilizer in rice

Mumtahina Nabila<sup>1)\*</sup>, Aozora Moriwaki<sup>2)</sup>, Keigo Yoshinaga<sup>2)</sup>, Aya Matsuoka<sup>3)</sup>, Hiroyuki Shimono<sup>2)</sup>, Maya Matsunami<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, <sup>2)</sup> Faculty of Agriculture, Iwate University, <sup>3)</sup> Graduate School of Arts and Sciences, Iwate University

\*連絡先 (mumtahinanabila@gmail.com)

Plants are inherently poor at accessing applied fertilizer by surface broadcasting method. Therefore, reducing chemical fertilizer application requires widely applicable solutions such as increased root length and root surface area exposed to localized fertilizer would facilitate plant to uptake nutrient more efficiently. Nitrogen (N) deep placement is thoroughly studied as a strategy for reducing amount of fertilizer application, but phosphorus (P) and potassium (K) deep placement in rice and its effect on nutrient uptake and root development is not well known. This study was conducted to evaluate the effect of combined N, P, and K by Deep-Place-Fertilization (DPF) method on root development and nutrient uptake. In 2020 and 2021, field experiment was conducted at Iwate University experimental field using rice cultivar "Akitakomachi". Ammonium sulphate and slow-release N fertilizer used as N source in 2020 whereas only urea used as N source in 2021, along with superphosphate as P and KCl as K sources. Nutrient mixed in soil used as control where nutrient ball placed at 7 cm (DP1 in 2020) or 10 cm (DP1 in 2021) and 7 cm and 15 cm (DP2) depth of soil was the DPF treatment condition. In DP2 treatment, fertilizer used in half amount as of DP1 at each position. The N, P & K application rate was same for all the treatments with the ratio of N:P:K= 8:15:9 (g/m<sup>2</sup>) in both years. Fertilizer ball placed at 5cm horizontal distance from the hill in 2020, though in case of 2021 the distance was 15 cm for DPFs treatments. In 2020, at heading stage, greater root length and root surface area were found at both DPF conditions specially at deep soil layer (below 10 cm from soil surface). Likewise, in 2021, higher relative root length and root surface area against control found for DPFs specially at fertilizer position which indicating the elongation of root towards nutrient. At heading stage, nutrient uptake was equivalent among the treatments but at maturity stage, it enhanced significantly by DPFs not only for NPK but also for Ca and Mg in both years. Taken together, deep fertilization induces the root growth towards fertilizer and with increased root surface area plants were facilitated to better nutrient uptake.





## マルチ資材の利用が生育初期におけるササゲの根系形成に及ぼす影響

平川翔唯<sup>1)</sup>・塩津文隆<sup>2)</sup><sup>1)</sup>明治大学大学院農学研究科, <sup>2)</sup>明治大学農学部

\*連絡先(shoi.h.41@gmail.com)

アフリカを中心に栽培されるマメ科作物のササゲは重要な食糧のひとつである。ササゲは主に裸地で栽培されており、近年の気候変動による降雨不順や迫りくる乾季による生産性変動の影響を受けやすいことから、栽培技術による安定生産が求められている。栽培技術の一つとして、土壤乾燥の抑制や雑草抑制、地温の上昇などの効果があるマルチ栽培が考えられるが、ササゲの研究事例は少ない。また、マルチ資材の違いによってその効果は様々であり、土壤環境の変化に伴い根系形成も変わることが考えられる。そこで、本研究ではマルチ資材の違いが生育初期のササゲの根系形成に及ぼす影響を明らかにすること目的とした。

**【材料および方法】**

明治大学生田キャンパス南圃場で試験を実施した。供試品種は耐乾性品種IT98k-205を用いた。畠立ては南北方向にベッド幅30cm、畠幅60cm、畠高20cmで行った。試験区は、無マルチ区(N区)、ムギ藁マルチ区(S区)および黒マルチ区(B区)の3処理区を設けた。2022年7月27日に株間40cmで播種した。施肥は、N:P:K=4:9.3:13.3 g/m<sup>2</sup>を施用した。播種後21日に地際で切断し、地上部を収穫後、個体あたり地上部乾物重を測定した。根系調査は無枠モノリス法で行い、縦15cm×横15cm×深さ30cmの土塊を採取した。得られた土塊は0-10cm(上層)、10-20cm(中層)、20-30cm(下層)に分けた後、土を洗い流し、根を採取した。その後、層別の根長、根径別の根長、根重、根長密度、根重密度などの根系特性を調査した。また、各処理区の根重から根の深さ指数を算出した。地温は、熱電対による地温センサー(MCR-4TC, T&D社)で畠内の深さ10cmの地温を測定した。土壤含水率は、土壤水分センサー(SM150, Delta-T社)で深さ5cmを測定した。

**【結果および考察】**

生育期間中の地温は処理区によって大きく異なり、B区の地温が最も高く推移し、次いでN区、S区の順であった。特に、B区の最高地温は48.3°CでN区よりも約13°C高かった。また、土壤含水率はマルチの有無や種類によって異なり、B区で高く、N区で低かった。地上部乾物重はN区が0.86 g/個体で最も高く、次いでS区が0.76 g/個体、B区が0.47 g/個体であった。次に層別の根長について検討したところ、上層はB区>S区>N区、中層はN区>S区>B区、下層はN区>S区>B区となり、処理区による違いがあった。ただし、上層および中層では根径が0.2mmより大きい太い根の割合が、それぞれ59%から69%，64%から73%と根径別の構成割合に違いがみられたが、下層では71%から73%と違いがみられなかった。マルチ資材を利用した場合、上層における根長密度および根重密度は増加する傾向にあった。反対に、下層ではN区における根量の増加がみられたことから、根の深さ指数もN区>S区>B区となった。

以上より、異なるマルチ資材を利用した場合、土壤含水率や地温などのマルチ内の環境要因によってササゲの根量が変化することが示唆された。しかしながら、根量の増減程度は層別で異なっていた。今後は、より広範囲な根系調査を通じた根系形成の定量化および変動要因の解明について検討する必要がある。

**ササゲ(*Vigna unguiculata*)において VuCLE25 ペプチドは根伸長と乾燥応答を調節する**添石浩太<sup>1)</sup>・石井孝佳<sup>2)</sup>・湯浅高志<sup>\*1)</sup><sup>1)</sup>宮崎大学農学部, <sup>2)</sup>鳥取大学乾燥地研究センター

\*連絡先 (yuasa@cc.miyazaki-u.ac.jp)

**【目的】**ササゲ [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]は乾燥耐性に優れた西アフリカ原産のマメ科作物である。ササゲの優れた乾燥耐性には深根性や植物ホルモン、アブシジン酸(ABA)に応答した気孔閉鎖による水分損失抑制と適合溶質の蓄積の重要性が示されている。近年、乾燥応答シグナルには ABA 輸送体および CLE ペプチドを介した根と地上部の間の長距離シグナルが関与することがシロイスナズナの研究から明らかとなった (Takahashi et al. 2018 Nature)。そこでササゲの乾燥耐性獲得メカニズムにおける CLE 遺伝子の働きに着目した。ササゲゲノムにおける乾燥応答 CLE シグナル関連遺伝子の同定、CLE ペプチド処理に応答したアブシジン酸(ABA)生合成律速酵素遺伝子(*VuNCED*)の発現プロファイルおよび根の伸長への作用を解析した。

**【材料および方法】** 宮崎大学実験圃場ビニールハウスにおいて豆化成 10g, 苦土石灰 10g を加えた宮崎焼土を詰めた 1/5000a ワグネルポットにササゲ IT98K-205-8 系統の種子を播種し 4 週間栽培を行った。灌水停止により乾燥ストレス処理を行った。また *in vitro* ストレス処理実験では葉身を葉柄の根元で切断して 1/20MS 培地に葉柄を 1 日前培養した。(1)コントロール区(1/20MS 培地), (2)CLE25 処理区(10μM VuCLE25 ペプチド + 1/20MS 培地), (3)乾燥区(葉身を濾紙上に静置)のストレス処理を実施して植物体をサンプリングした。常法に従い半定量的 RT-PCR により遺伝子発現解析を行った。ササゲの CLE ペプチド前駆体、LRR-受容体キナーゼおよび NCED 遺伝子候補を, Phytozome v13(<https://phytozome-next.jgi.doe.gov>)において tblastx 検索と clustalw(<https://www.genome.jp/tools-bin/clustalw>)により相同性を比較、同定するとともに、遺伝子特異的プライマーを設計した。水酸化プロリンを含む VuCLE25 ペプチドを人工合成した。CLE ペプチドを含む寒天培地にササゲ種子を播種し根の伸長を調査した。

**【結果および考察】** ササゲゲノムにはシロイスナズナ CLE25 ペプチドの 12 個のアミノ酸のうち 1ヶ所のアミノ酸の違いがある CLE ペプチドをコードする 2 つの *VuCLE25* 遺伝子が存在した。乾燥ストレスに応答して片方の *VuCLE25* 遺伝子の発現が顕著に上昇した。先行研究ではシロイスナズナで乾燥処理に応答して CLE25 ペプチドが根から地上部に移行し葉肉細胞の受容体 AtBAM1, AtBAM3 に結合して *AtNCED3* 遺伝子発現誘導を介して ABA 合成を促すことが報告された(Takahashi et al, 2018 Nature)。ササゲゲノムの LRR-RK オルソログ遺伝子ファミリーのうち AtBAM1,3 と高いアミノ酸相同性を示す 5 つのササゲ BAM オルソログ遺伝子が存在した。ササゲ葉身への VuCLE25 ペプチド処理に応答して *VuNCED-02g* の発現が増加したが *VuNCED-01g* の発現は変動しなかった。一方、乾燥に応答して *VuNCED-01g* は顕著に発現上昇したが、*VuNCED-02g* は変動しなかった。シロイスナズナでは CLE ペプチドと乾燥は共通して *AtNCED3* の発現を増加させることが報告されていたが、今回、ササゲでは CLE ペプチドと乾燥がそれぞれ異なる *VuNCED* 分子種を発現増加する興味深い知見が得られた。また CLE ペプチド処理はササゲの根伸長を顕著に抑制したことから、ササゲにおいても CLE ペプチドが乾燥応答 ABA 生合成の調節に加えて根端メリシステムの調節にも機能することが示された。

**【謝辞】** 本研究は令和 2,3,4 年度鳥取大学乾燥地研究センター共同研究経費の支援により実施された。

# *Root Research* 根の研究

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川1-22-4 新共立ビル 2F  
株式会社共立内 根研究学会事務局  
Tel:03-3551-9891  
Fax:03-3553-2047  
e-mail:neken2022@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

根の研究 第31巻 別冊2号

2022年12月22日印刷 2022年12月23日発行

発行人:安彦友美 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 九州大学農学部アグリバイオ研究施設  
編集・印刷:第56回根研究集会実行委員会(委員長 安彦友美)

# **Root Research**

**Japanese Society for Root Research**