

# Root Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182  
Vol.32, No.S1  
Jun 2023

第57回根研究集会要旨集

2023年5月20-21日 明治大学農学部

第32卷 別冊1号  
根の研究  
根研究学会(JSRR)



## 第 57 回根研究集会 要旨集(57th Biannual Meeting of JSRR)

### <開催日時 Date and time>

2023 年 5 月 20 日(土)12:00-17:30, 21 日(日) 9:00-12:30

### <開催場所 Venue>

〒214-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1 明治大学農学部 第一校舎 2 号館および 6 号館

### <プログラム Program>

#### 5 月 20 日(土)

12:00 受付 Registration(2-200 教室前), ポスター提示 Posters display(6-204 教室)

13:00-13:05 開会の挨拶(中野 明正 根研究学会 会長)Opening remarks

13:10-14:10 ポスター発表(15 課題)Poster session

14:15-15:15 特別講演 Special lecture(2-200 教室)

新屋 良治 先生(明治大学農学部 植物線虫学研究室)

「線虫の住処としての根」

佐藤 直人 先生(明治大学農学部 土地資源学研究室)

「宇宙で農業をするために -低重力下における栽培培地中の水分挙動-」

15:20-16:10 総会 General meeting

16:10-17:30 受賞講演 Award ceremony

【学術功労賞】辻 博之 氏(農研機構・北海道農業研究センター)

「農耕地土壌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」

【学術奨励賞】寺本 翔太 氏(農研機構・作物研究部門)

「根系の表現型解析に関する新しい方法の開発」

【学術特別賞】藤井 太一氏・南 基泰氏(中部大学応用生物学研究科), 市橋 泰範氏・佐藤 匠氏・熊石 妃恵氏(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), 渡部 卓也氏(由志園アグリファーム株式会社)

「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壌微生物相の経年変化の解析」

18:30- 懇親会(登戸駅)

#### 5 月 21 日(日)

08:30-09:00 受付 Registration

09:00-12:00 口頭発表(12 課題)Oral presentation

12:00-12:30 優秀発表賞表彰 Best Presentation Award, 時期集会の実行委員会のご挨拶, 閉会

### <第 57 回根研究集会実行委員・問合せ先> Contact

明治大学農学部 塩津文隆 E-mail:shotsu@meiji.ac.jp, 電話:044-934-7807



ポスター発表プログラム (5月20日 13:10-14:10, 6-204 教室)  
(★優秀発表賞エントリー)

|        |  |
|--------|--|
| P-1    | マンノースのバイオスティミュラントとしての可能性<br>大島宏之・宇野祐子 (三菱ケミカル株式会社)   |
| ★ P-2  | シロイヌナズナの根におけるストロンチウムによる活性酸素種の生成<br>長田 武*・新井将生・中村寿弥・岡田佳之 (摂南大学理工学部生命科学科)  |
| P-3    | イネ高温登熟障害耐性品種と感受性品種の根系における代謝物質の差異の網羅的解析<br>小川敦史* <sup>1)</sup> ・吉野早紀 <sup>2)</sup> ・豊福恭子 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 秋田県立大学生物資源科学部, <sup>2)</sup> 秋田県立大学大学院生物資源科学研究科)   |
| P-4    | 中心柱始原細胞群の形態的考察<br>仁木輝緒* <sup>1)</sup> ・幹 康 <sup>1)</sup> ・斎藤 進 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 合同会社 ミキ音響 イメージプロセッシング部門)  |
| P-5    | 冠水温が普通ソバ苗の回復期の地上部および地下部生育に及ぼす影響<br>曾根千晴*・天野顕史 (秋田県立大学生物資源科学部)  |
| P-6    | 高温登熟障害耐性程度が異なるイネ品種の高温に対する根系特性<br>豊福恭子* <sup>1)</sup> ・吉野早紀 <sup>2)</sup> ・小川敦史 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 秋田県立大学生物資源科学部, <sup>2)</sup> 秋田県立大学大学院生物資源科学研究科)  |
| ★ P-7  | 塩分ストレスが C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> 植物の生育, 光合成に与える影響<br>鈴木健斗* <sup>1)</sup> ・岩崎泰永 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 明治大学農学部)   |
| ★ P-8  | <b>Changes in native arbuscular mycorrhiza fungus colonisation along crop growth stages in upland rice-winter crop rotation with 4 preceding land uses</b><br>Pacharo Kamanga <sup>1</sup> , Akihiko Kamoshita <sup>1</sup> , Ryo Ohtomo <sup>2</sup> Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo <sup>1</sup> , National Agriculture and Food Research Organisation <sup>2</sup> )         |
| ★ P-9  | <b>Phenotyping short-term growth response of rice root system topology through image-based time series analysis</b><br>Via Ann Candelaria MARCELO <sup>1)</sup> , Hiroshi EHARA <sup>2)</sup> and Mana KANO-NAKATA <sup>2)</sup> *<br>( <sup>1)</sup> Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, <sup>2)</sup> International Center for Research and Education in Agriculture, Nagoya University) |
| ★ P-10 | 畝立ておよびビニルマルチがトウモロコシ・ササゲ混作の根系分布に及ぼす影響<br>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)   |
| ★ P-11 | 樹木細根における解剖構造の土壌深度に対する応答<br>～スギとヒノキの異なる原生木部数～<br>細井彩* <sup>1)</sup> ・朝倉知佳 <sup>1)</sup> ・坂下凜 <sup>1)</sup> ・増本泰河 <sup>2)</sup> ・牧田直樹 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 信州大学大学院総合理工学研究科, <sup>2)</sup> 信州大学大学院総合医理工学研究科)   |



|        |  |
|--------|--|
| ★ P-12 | イネにおける側根原基の可塑的な発生機構の解析<br>榎田聖也 <sup>1)</sup> ・赤星良輔 <sup>1)</sup> ・河合翼 <sup>1,2)</sup> ・犬飼義明 <sup>*3)</sup> (1)名古屋大学大学院生命農学研究科, 2)農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門, 3)名古屋大学農学国際教育研究センター) |
| ★ P-13 | 塩分ストレスの履歴がコマツナの地上部、地下部の生育に及ぼす影響<br>大井克人*・岩崎泰永 (明治大学農学部)  |
| ★ P-14 | 水稻根系の発達と活性には土壌改良資材よりも栽培環境が影響する<br>後藤真唯子・前采花・沖中奈津実・加藤ひなた・関谷信人 (三重大学生物資源学部)  |
| ★ P-15 | 培養液の供給法がコマツナの生育と根の形態に及ぼす影響<br>澤田佳穂 <sup>*1)</sup> ・中野明正 <sup>2)</sup> ・浄閑正史 <sup>2)</sup> ・塚越覚 <sup>3)</sup> (1)千葉大学大学院園芸学研究科, 2)千葉大学大学院園芸学研究院, 3)千葉大学環境健康フィールド)             |

**口頭発表プログラム (5月21日 09:00-12:00, 2-200 教室)**  
**(★優秀発表賞エントリー)**

|                    |  |
|--------------------|--|
| ★ O-1<br>0900-0915 | 根への異なる波長照射がコマツナの生育と栄養成分含有量に与える影響の解明<br>金俊輔 <sup>*1)</sup> ・豊福恭子 <sup>2)</sup> ・小川敦史 <sup>2)</sup> (1)秋田県立大学大学院生物資源科学研究科, 2)秋田県立大学生物資源科学部)  |
| ★ O-2<br>0915-0930 | パパイヤの耐寒性に及ぼす地下部加温の影響<br>佐伯爽 <sup>*1)</sup> ・中村勇太 <sup>2)</sup> ・小阪舞 <sup>2)</sup> ・岩崎直人 <sup>1, 2)</sup> (1)明治大学大学院農学研究科 (*福島大学食農学類), 2)明治大学農学部)   |
| O-3<br>0930-0945   | 連続薄切片顕微画像からの3Dオブジェクトの構築<br>幹 康 <sup>*1)</sup> ・仁木 輝緒 <sup>1)</sup> ・斎藤 進 <sup>1)</sup> (1)合同会社 ミキ音響 イメージプロセッシング部門)   |
| ★ O-4<br>0945-1000 | 樹木根圏画像における成長・枯死根検出手法の性能比較<br>山形拓人 <sup>*1)</sup> ・池野英利 <sup>2)</sup> ・木村敏文 <sup>3)</sup> ・礮川悌次郎 <sup>4)</sup> ・中路達郎 <sup>5)</sup> ・大橋瑞江 <sup>3)</sup><br>(1)兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, 2)福知山公立大学情報学部, 3)兵庫県立大学環境人間学部, 4)兵庫県立大学大学院工学研究科, 5)北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)   |
| ★ O-5<br>1000-1015 | 土壌中の根の引き抜き・倒伏に関するモデル実験<br>木下茉優 <sup>*1)</sup> ・山口哲生 <sup>1)</sup> (1)東京大学大学院農学生命科学研究科)   |
| ★ O-6<br>1015-1030 | 異なる土壌環境に生育するスギ個体根系内の深さ別細根特性<br>柳瀬亮太 <sup>*1)</sup> ・谷川東子 <sup>2)</sup> ・杢山哲矢 <sup>1)</sup> ・黒見信輔 <sup>1)</sup> ・金子祥也 <sup>1)</sup> ・山瀬敬太郎 <sup>3)</sup> ・藤堂千景 <sup>3)</sup> ・池野英利 <sup>4)</sup> ・大橋瑞江 <sup>5)</sup> ・檀浦正子 <sup>6)</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, 3)兵庫県農林水産技術総 |



|                     |  |
|---------------------|--|
|                     | 合センター森林林業技術センター, <sup>4)</sup> 福知山公立大学情報学部, <sup>5)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部, <sup>6)</sup> 京都大学大学院農学研究科)  |
| ★ O-7<br>1030-1045  | サイトカニン <sup>*</sup> は外皮のスベリン化を介したイネの Radial Oxygen Loss バリア形成に<br>関与する<br>石川愛佳 <sup>*1,2)</sup> ・清水香那 <sup>1)</sup> ・江尻真斗 <sup>1)</sup> ・緒方是嗣 <sup>3)</sup> ・山本卓志 <sup>3)</sup> ・平修 <sup>4)</sup> ・塩野克宏 <sup>1)</sup><br>( <sup>1)</sup> 福井県立大学生物資源学部, <sup>2)</sup> 東北大学大学院生命科学研究科, <sup>3)</sup> 島津製作所,<br><sup>4)</sup> 福島大学食農学類)   |
| ★ O-8<br>1045-1100  | ルートプレッシャーチャンバー法を用いた樹木細根系の水透過性の測定:<br>野外条件下で測るために<br>増本泰河 <sup>*1)</sup> ・矢原ひかり <sup>1)</sup> ・且原真木 <sup>2)</sup> ・牧田直樹 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 信州大学大学院総合医理工学<br>研究科, <sup>2)</sup> 岡山大学資源植物科学研究所)  |
| ★ O-9<br>1100-1115  | <b>Analysis of control mechanisms on promoted lateral root development by rice<br/><i>our1</i> mutation focusing on <i>OsWOX10</i> regulation</b><br>Dong Yihao <sup>1)</sup> ・Cornelius M. Wainaina <sup>2,3)</sup> ・Yoshiaki Inukai <sup>*2)</sup> ( <sup>1)</sup> Grad. Sch. Bioagr.,<br>Nagoya U., <sup>2)</sup> ICREA, Nagoya U., <sup>3)</sup> Dept. Hort. Food Sec., JKUAT)   |
| ★ O-10<br>1115-1130 | イネ科作物は低酸素環境にて呼吸維持に必要な根系形成を誘導する<br>田丸翔太郎 <sup>*1)</sup> ・勝濱直椰 <sup>2)</sup> ・後藤啓太 <sup>1)</sup> ・藪田伸 <sup>3)</sup> ・坂上潤一 <sup>3)</sup> ( <sup>1)</sup> 鹿児島大学大学<br>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<br>部)   |
| ★ O-11<br>1130-1145 | <b>Soil texture influenced the effect of P-dipping on NERICA 4 rice root<br/>morphology in early growth stages</b><br>Emmanuel ODAMA <sup>1,2)</sup> , Yasuhiro TSUJIMOTO <sup>3)</sup> , Shin YABUTA <sup>4)</sup> , Isao AKAGI <sup>4)</sup> ,<br>Rael CHEPKOECH <sup>1)</sup> , Ibrahim SOE <sup>1)</sup> , and Jun-Ichi SAKAGAMI <sup>4)*</sup> ( <sup>1)</sup> The United<br>Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Japan; <sup>2)</sup> National<br>Agricultural Research Organisation, Uganda; <sup>3)</sup> Crop, Livestock and Environment<br>Division, JIRCAS, Japan; <sup>4)</sup> Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Japan.) |
| O-12<br>1145-1200   | 厳しい乾燥ストレス下でのイネ安定生産を目指す新しい試み<br>犬飼義明 <sup>*1)</sup> ・金生真綾 <sup>2)</sup> ( <sup>1)</sup> 名古屋大学農学国際教育研究センター, <sup>2)</sup> 名古屋大<br>学大学院生命農学研究科)   |



## 線虫の住処としての根

新屋良治\*

明治大学農学部

\*連絡先(shinya@meiji.ac.jp)

線虫とは線形動物門に属する動物のことで、地球上で最も繁栄した動物群の1つとして知られている。線虫は海洋中や土壌中に生息する動物群の中では個体数が圧倒的に豊富であり、多くは分解者として物質循環に寄与する。しかし、線虫全体の10%程度の種は植物に寄生して加害する植物寄生性線虫であることが知られており、その世界被害額は少なくとも年間10兆円前後にもなると推定されている。

中でも被害が特に大きいのは植物の根に寄生するネコブセンチュウである。ネコブセンチュウは一般に土壌中で孵化したあと、寄主植物の根に侵入し、維管束に向かって移動する。その後、線虫は植物細胞に形態変化を引き起こし、巨大細胞と呼ばれる特殊な細胞を形成することで、根にこぶ(通称:根コブ)が形成される。その後、ネコブセンチュウは根コブ内に留まり、巨大細胞から効率良く栄養を摂取することでその生活史を全うするとともに、寄主植物に被害をもたらす。つまり、ネコブセンチュウは寄主植物に寄生し、積極的に働きかけることで根の内部構造を作りかえ、自らの住処を確保するのである。

また、ネコブセンチュウは基本的に単為生殖により雌単独で増殖するグループであるが、環境条件次第では稀に雄が出現することが知られている。ネコブセンチュウにとっての主な外部環境とは植物根内環境であるため、演者らは根の生理的变化がネコブセンチュウの性決定に影響するのではないかという仮説を立て、雄線虫誘導条件を探索してきた。まず、さまざまな環境条件において雄線虫の出現数を調べたところ、光強度の変化によって雄出現数が変化することを明らかにした。また、シロイヌナズナ変異株を宿主として、ネコブセンチュウ感染実験を実施したところ、一部の糖輸送関連変異体において高い頻度で雄線虫が出現する傾向が見られた。これらの結果は、ネコブセンチュウが根コブ内に形成した巨大細胞から摂取できる糖の量もしくは質を指標として、自身の性を決定していることを示唆する。つまり、ネコブセンチュウは植物の光合成産物である糖を通じて根内の環境を把握し、線虫の生育にとって不良環境と判断される場合に雄線虫へと成長し、宿主植物根から脱出する仕組みを持っていると考えられる。本講演では、植物寄生性線虫と根のインタラクションを中心に様々な知見を紹介するとともに、植物根から供給される栄養に依存して性を決定するネコブセンチュウに関する研究成果についてお話したい。

宇宙で農業をするために -低重力下における栽培培地中の水分挙動-

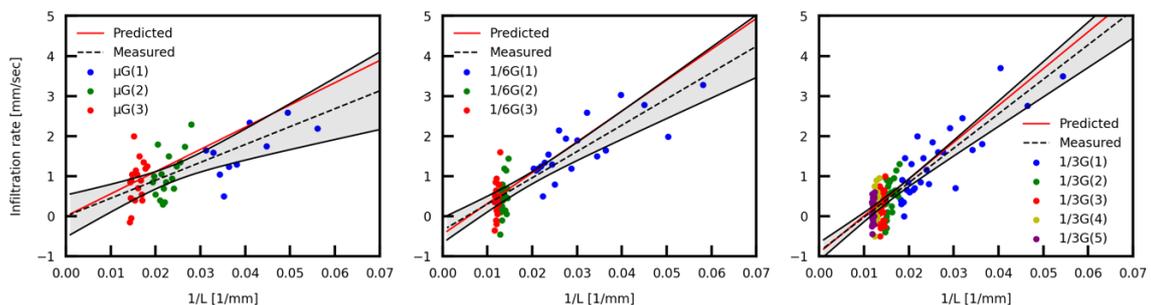
佐藤直人<sup>\*1)</sup>・丸尾裕一<sup>2)</sup>・長沼菜摘<sup>3)</sup>・野川健人<sup>3)</sup>・登尾浩助<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>明治大学農学部, <sup>2)</sup>明治大学研究・知財戦略機構, <sup>3)</sup>明治大学大学院農学研究科

\*連絡先(n\_sato@meiji.ac.jp)

現在,世界の宇宙機関が参加する国際宇宙探査協働グループ (ISECG) において,月面および火星有人探査を実現する計画が進められている (ISECG, 2020). 長期の有人探査ミッションの実現には,宇宙飛行士の食料を確保する手段について検討を行う必要がある. 地球から物資を輸送する場合,低空周回軌道でも\$10,000/kg,火星では\$300,000/kgがかかると見積もられており (Massa et al., 2007),食料を地球からの補給に依存することは現実的ではない (Maggi et al., 2018). そこで,宇宙空間において作物栽培を行う「宇宙農業」が検討されている. しかし,実際に宇宙ステーション内で実施された作物栽培実験 (Bingham et al., 2000; Massa et al., 2017) では,栽培培地に水が染み込みにくくなったことが報告されており,微小重力下における培地中の水分量制御が困難であることが明らかになった. 微小重力下における多孔質培地中の浸潤速度の低下は Yendler et al. (1996) によっても観察されており,粒径 1.5 mm の培地では予測値より 68%も低下したと報告されている. しかしながら,微小重力下における浸潤速度低下の原因は明らかではなく,より多くの低重力実験が必要であることが指摘されている (Yendler et al., 1996). そこで本研究では,パラボリックフライトにより作出した低重力下において浸潤実験を実施し,多孔質培地中の水分移動の重力依存性について検討を行なった.

パラボリックフライトとは航空機を放物線飛行させることにより 20~30 秒程度の低重力環境を作出する手法である. 本研究ではパラボリックフライトにより,宇宙ステーションを想定した微小重力 ( $\mu\text{G}$ ),月環境を想定した 1/6G,火星環境を想定した 1/3G を作出し,模擬土壌中の浸潤速度を測定した. 模擬土壌には先行研究よりも粒径の小さい直径 0.4 mm のガラスビーズを使用した. 第1図は各重力下における浸潤速度と 1G 下で測定した培地の吸水度に基づく予測値との比較である. 先行研究で観察されたような浸潤速度の低下は観察されず,1/3G では予測値と実測値がほぼ一致した. 粒径の小さい培地では重力による影響が小さくなり,浸潤速度の低下が起こりにくいと考えられる.



第 1 図  $\mu\text{G}$ , 1/6G, 1/3G 下における 0.4 mm ガラスビーズ中の浸潤速度

## P-1 マンノースのバイオスティミュラントとしての可能性

大島宏之・宇野祐子

三菱ケミカル株式会社

hiroyuki.oshima.ma@mcgc.com

バイオスティミュラントは、植物が本来備えている免疫力を高め、環境ストレスの軽減、植物の成長や発育の促進、増収効果などをもたらす資材とされており、化学農薬の代替として使用することで、環境負荷を低減し、持続可能な農業を実現するための新しい資材として注目されている。また、肥料原料の価格が高騰していることが原因で肥料価格が高騰しており、肥料の代わりとしてのバイオスティミュラント資材の需要はますます高まると予測される。近年、地球温暖化による降水変化に伴い、大雨の頻度が増加し、それと同時に無降水または少雨の期間の増加が起こる可能性が示唆されている。さらに、人口増加により陸域の大部分は人間による影響を受けていることなど様々な要因が相互に作用し、砂漠化が進行することも危惧されている。このような気候や生態系の変動は土地の劣化を悪化させ、大規模な食糧難を引き起こす可能性も考えられる。そこで、より厳しい栽培環境においても植物の耐乾燥性向上効果が得られる、新たな技術が求められている。

光合成生物のアスコルビン酸合成経路は D-マンノース(D-Man)と L-ガラクトース(L-Gal)の誘導体を代謝中間体とする D-Man/L-Gal 経路が存在することが知られており、マンノースは、我々のこれまでの研究の中で、ハウレンソウ植物体中のアスコルビン酸含有量を増加することに関与する物質であることが分かっていた。さらに興味深いことに、マンノースは一定濃度以上では根の伸長を阻害し、植物体の生育を抑制する影響がある一方で、防御応答遺伝子 *PR-1a* の発現誘導活性を示す知見も得られていた。シロイヌナズナの液胞では、乾燥ストレス時、また過剰光条件下や病原体感染時に、液胞内のアスコルビン酸が強く増加し、乾燥ストレス時に葉緑体やペロオキシソームから液胞に漏出したこの細胞区画での  $H_2O_2$  の解毒に、アスコルビン酸が重要な役割を果たしていることが報告されている(Barbara Eva Koffler, et al., Plant Science, 2014)。そこで我々はマンノースの添加により、植物体に乾燥ストレスに対する耐性を付与することが出来るのではないかと考え、夏の栽培には不向きな葉菜類の苗におけるマンノースの効果を検証した。

本研究の結果、マンノース添加後に乾燥にさらされたハウレンソウにおいて、灌水復帰後の生育が良好になることが確認された。この傾向は、短期間の強い乾燥に対しても、長期間の乾燥に対しても同様に観察され、1 mM の添加により効果があることが示された。さらに、他の葉菜類、ミズナやハクサイにおいても、ハウレンソウと同様の現象が見られ、灌水復帰後の生育が良好となることが明らかとなり、マンノース添加による乾燥からの回復効果は、幼苗に添加した場合でも、ある程度生育した苗に添加した場合でも、同様の効果を得られることが示された。すでに乾燥だけでなく高温に対する耐性の付与効果もあることが知られている市販のバイオスティミュラント資材との比較では、ハウレンソウでは短期的な強い乾燥においてはマンノース添加で強い効果が見られたが、そのメカニズムは異なることが予想され、今後さらなる研究が必要であると考えられる。マンノースと市販のバイオスティミュラント資材の組み合わせでより効果が高まる可能性も示唆された。これらのことから、対象植物が乾燥条件に曝される前に、マンノースを対象植物に接触させることで、耐乾燥性を向上させることができ、乾燥による植物の枯死または生重量の減少による農作物の収穫量の減少を抑えることができると考えられる。

## P-2 シロイヌナズナの根におけるストロンチウムによる活性酸素種の生成

長田武\*・新井将生・中村寿弥・岡田佳之

摂南大学理工学部生命科学科

\*連絡先 (t-nagata@lif.setsunan.ac.jp)

ストロンチウム (Sr) は土壌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。花火や発炎筒の炎色反応など様々な産業に汎用されており、液晶ガラスなどのディスプレイにも含まれる。植物において Sr は非必須元素であり、植物への吸収は植物種や土壌 pH などによって著しく変化することが報告されている。例えば、ダイズやアマランサスなど幾つかの植物種では高い Sr 吸収活性を有することが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*) において寒天培地中の Sr 濃度の上昇に従い、地上部への Sr 蓄積の増加、根の伸長阻害および細胞死を報告している。しかし、Sr による植物毒性の誘導機構については全く不明であった。一方、カドミウムや鉛などの重金属ストレスでは、その毒性に活性酸素種 (Reactive Oxygen Species; ROS) の関与が知られている。そこで本研究では、Sr による生育阻害や細胞死に ROS が関与しているか解明することを目的とした。

まず、Sr によって植物組織内で ROS が生成しているかジアミジノベンジジン (DAB) 染色により検討を試みた。シロイヌナズナ (Heynh. 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。培養後、若苗を地上部と根に切り分け、DAB 染色を行った。その後、顕微鏡を用いて根の観察を行った。なお、ROS を生成することが報告されている 3-ブテンニトリルをコントロールに用いた。その結果、Sr 0 mM 条件の根では DAB による染色が観察されなかったが、Sr 0.1 mM 以上で DAB による褐色の染色が認められた。とくに、Sr 1 mM 以上の根のメリステム領域において顕著な染色が観察された。これらの結果から、Sr は植物組織内で ROS 生成を惹き起こすことが示唆された。また、メリステム領域における Sr 誘導性の細胞死に ROS が関与している可能性が考えられる。

次に、還元剤であるヨウ化カリウム (KI) を用いて、Sr によって生成した ROS を消去することで、生育阻害効果が回復されるか検討を試みた。シロイヌナズナを Sr 濃度 10 mM および KI 濃度 10 mM 含有もしくは非含有寒天培地で 2 週間培養した。培養後、若苗を地上部と根に切り分け、地上部および根の新鮮重量、根長を測定した。地上部において、KI 含有寒天培地と非含有寒天培地で生育させた若苗を比較した結果、新鮮重量の有意な差は認められなかった。しかし、根の新鮮重量では KI の添加によって 25%程度の有意な増加が観察された。また、根長においても KI の添加によって有意な増加が認められた。これらの結果から、KI の還元能により Sr が生成した ROS が消去され、根の生育が回復したものと考えられる。

以上から、Sr による生育阻害や細胞死に ROS の関与が示唆された。しかし、その吸収メカニズムは全く不明である。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。

P-3

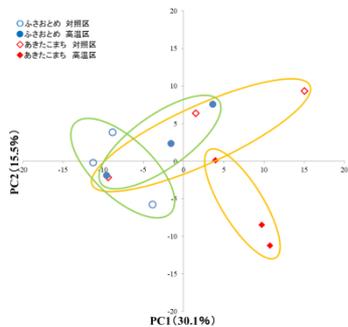
イネ高温登熟障害耐性品種と感受性品種の根系における代謝物質の差異の網羅的解析

小川敦史<sup>\*1)</sup>・吉野早紀<sup>2)</sup>・豊福恭子<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>秋田県立大学生物資源科学部, <sup>2)</sup>秋田県立大学大学院生物資源科学研究科

\*連絡先 (111111@akita-pu.ac.jp)

日本のイネ栽培の現場において、地球温暖化に伴い出穂期から登熟期にかけての高温が原因となり、全国的に玄米品質の低下すなわち高温登熟障害が頻発している。これまでの高温登熟障害に関する研究は、多くがその現象が現れる穂を中心とした地上部に注目して行われてきた。一方で発表者らの研究グループでは、高温登熟障害耐性品種と感受性品種との間には、根系に大きな違いがあることを明らかにしつつある。そこで本研究では、高温登熟障害耐性程度が中程度である「あきたこまち (対照品種)」と高温登熟障害耐性品種である「ふさおとめ」を用い、出穂期前より高温処理を行い、出穂期の根における高温処理による代謝物質の変化をメタボローム解析により網羅的に調査した。この結果、262の物質のピークが検出できた。主成分分析の結果、高温処理によりの有無、また高温登熟障害耐性品種と感受性品種の差異により代謝物質が異なる傾向を示していた。高温処理により、対照品種である「あきたこまち」では糖や核酸代謝系を中心とした5物質が有意に増加し、高温登熟障害耐性品種である「ふさおとめ」ではTCAサイクル、グルタミン酸代謝を中心とした14物質が有意に増加したことが明らかになった。一方で、両品種において高温処理により有意に減少した物質はなかった。これらの結果から、高温条件下において高温登熟障害耐性品種の根では積極的にエネルギー代謝を行い高温ストレス耐性に関与していることが示唆された。



第1図 高温処理区および対照区における耐性・対照品種の主成分スコアの散布図

第1表 第1主成分(PC1)および第2主成分(PC2)における因子負荷量の上位および下位5物質とその代謝経路分

| PC1 | 物質名                       | 因子負荷量   | 関与する代謝系  | PC2 | 物質名                   | 因子負荷量   | 関与する代謝系   |
|-----|---------------------------|---------|--|-----|-----------------------|---------|---|
|     | Tyr                       | 0.9577  | 芳香族アミノ酸:フェニルアラニンとチロシン代謝  |     | His                   | 0.8798  | グルタミン酸代謝と尿素回路   |
|     | γ-Glu-Glu                 | 0.9473  | -  |     | γ-Glu-Thr             | 0.8445  | -   |
|     | Gly                       | 0.9121  | 糖代謝と糖新生代謝/グルタミン酸代謝と尿素回路/コリン代謝とメチオニン回路/核酸代謝-プリン代謝-アデニン/核酸代謝-プリン代謝-グアノシン |     | No-Methylarginine     | 0.8322  | -   |
|     | Cystine                   | 0.9083  | コリン代謝とメチオニン回路  |     | Serotonin             | 0.8322  | 芳香族アミノ酸:トリプトファン代謝   |
|     | Ala                       | 0.9039  | TCA代謝によるエネルギー転換:脂肪酸の異化反応と分岐鎖アミノ酸の代謝                                    |     | Asp                   | 0.8317  | グルタミン酸代謝と尿素回路/核酸代謝-プリン代謝-アデニン/核酸代謝-プリン代謝-グアノシン/核酸代謝-ヒリミジン代謝 |
|     | Methionine sulfoxide      | -0.3852 | メチオニンの代謝   |     | N-Acetylhistidine     | -0.5939 | -   |
|     | Betaine                   | -0.3986 | コリン代謝とメチオニン回路  |     | Terephthalic acid     | -0.6123 | 核酸代謝-プリン代謝-アデニン/核酸代謝-プリン代謝-グアノシン/補酵素代謝                      |
|     | Asn                       | -0.4805 | グルタミン酸代謝と尿素回路  |     | N-Acetylglutamic acid | -0.6216 | グルタミン酸代謝と尿素回路   |
|     | 4-Methylaminobutyric acid | -0.4873 | リシンの分解 アルギニン、プロリンの代謝   |     | Gly-Asp               | -0.6404 | -   |
|     | 5-Aminovaleric acid       | -0.5450 | ヒスチジンの代謝   |     | N-α-Acetylarginine    | -0.6876 | -   |

第2表 高温処理により有意に増加した物質とその代謝経路分類

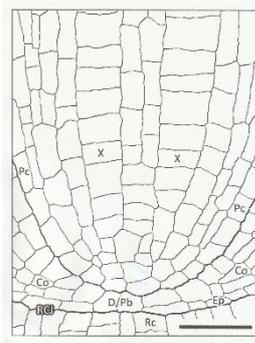
| ふさおとめ(高温登熟障害耐性品種)       |         |         |        | あきたこまち(対照品種)                              |  |         |        |                                  |
|-------------------------|---------|---------|--------|---|--|---------|--------|----------------------------------|
| 物質名                     | 高温区/対照区 | p-value | 代謝経路分類 | 物質名                                       | 高温区/対照区                                | p-value | 代謝経路分類 |                                  |
| Arg                     |         | 1.86    | 0.0387 | グルタミン酸代謝と尿素回路                             | 2-Methylthiazolidine-4-carboxylic acid | 2.96    | 0.0296 |                                  |
| Ile                     |         | 1.73    | 0.0081 | TCA代謝によるエネルギー転換:脂肪酸の異化反応と分岐鎖アミノ酸の代謝       | N-Acetylgalactosamine                  | 2.05    | 0.0285 | 糖質代謝                             |
| Imidazole-4-acetic acid |         | 1.87    | 0.0152 | グルタミン酸代謝と尿素回路                             | N-Acetylmannosamine                    | 1.99    | 0.0355 |                                  |
| Leu                     |         | 1.76    | 0.0234 | TCA代謝によるエネルギー転換:脂肪酸の異化反応と分岐鎖アミノ酸の代謝       | Oxalic acid                            | 1.61    | 0.0197 |                                  |
| Lys                     |         | 1.88    | 0.0477 | TCA代謝によるエネルギー転換:脂肪酸の異化反応と分岐鎖アミノ酸の代謝/補酵素代謝 | Uric acid                              | 2.81    | 0.0114 | 核酸代謝-プリン代謝-アデニン/核酸代謝-プリン代謝-グアノシン |
| Met                     |         | 1.80    | 0.0389 | コリン代謝とメチオニン回路/補酵素代謝                       |  |         |        |                                  |
| Phe                     |         | 1.72    | 0.0230 | 芳香族アミノ酸:フェニルアラニンとチロシン代謝                   |  |         |        |                                  |
| Pro                     |         | 1.71    | 0.0013 | グルタミン酸代謝と尿素回路                             |  |         |        |                                  |
| Tetrahydrozoline        |         | 1.30    | 0.0194 |   |  |         |        |                                  |
| Thr                     |         | 1.51    | 0.0135 | コリン代謝とメチオニン回路                             |  |         |        |                                  |
| Val                     |         | 1.78    | 0.0099 | TCA代謝によるエネルギー転換:脂肪酸の異化反応と分岐鎖アミノ酸の代謝       |  |         |        |                                  |
| γ-Glu-Ile               |         | 1.72    | 0.0411 |   |  |         |        |                                  |
| γ-Glu-Leu               |         | 1.34    | 0.0325 |   |  |         |        |                                  |
| γ-Glu-Trp               |         | 1.64    | 0.0080 |   |  |         |        |                                  |
| γ-Glu-Val               |         | 1.64    | 0.0080 |   |  |         |        |                                  |

P-4 中心柱始原細胞群の形態的考察

仁木輝緒<sup>\*1)</sup>・幹 康<sup>1)</sup>・斎藤 進<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 合同会社 ミキ音響 イメージプロセッシング部門

連絡先 ([teruo-niki@hb.tp1.jp](mailto:teruo-niki@hb.tp1.jp))



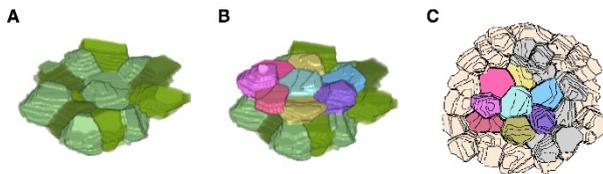
第1図 縦切片像

(テオシント)

演者はこれまで根の先端構造を調べてきた. イネ科の根の中心柱の始原細胞とはどれか, その形態を明らかにすることが目的である.

根を縦切片で観察すると, 中心柱の細胞は先端域までその配列をたどることができ, 先端細胞群につながる(第1図).

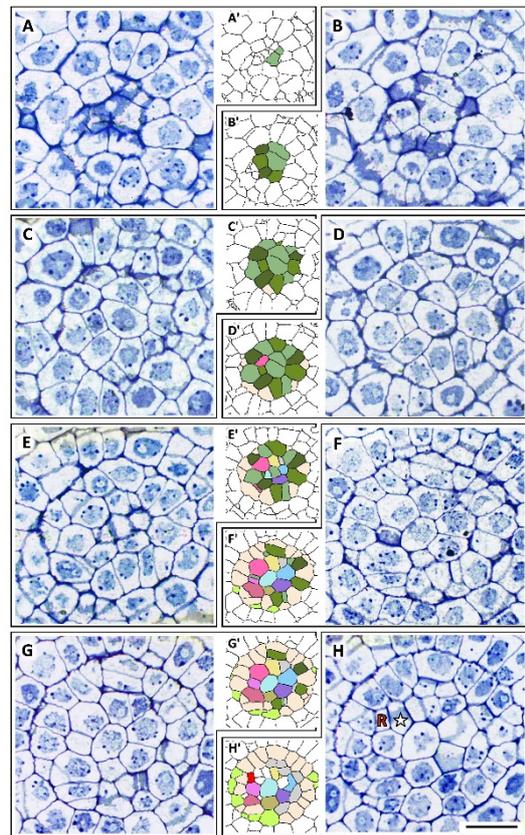
先端から1 $\mu$ m 厚の横断薄切片で連続的に観察を行うと, 表皮/皮層群を過ぎた位置で2個の細胞を中心に1層の細胞群が現れる(第2図 B', C'). その細胞群の上に, 比較的大きな細胞が現れ, 下の細胞群と分裂の方向性が異なる細胞群が観察される(第2図 E'~G'). また外周を囲むように新たな細胞が現れ(第2図 F'~G'), それら細胞の外から新たな細胞が生じている(第2図 H, H').



第3図 中心柱先端の細胞群の3D 像

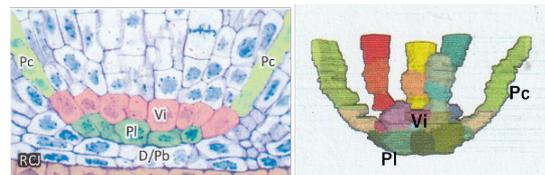
以上の連続薄切片から, 下層の細胞群は, 2個の細胞を中心とし, それを囲む約 10 個の細胞群からなる3D 像(第3図 A)が描ける. 第3図 B 第3図 A 像の上に存在する細胞群の3D 像.

第3図 C 第3図 B の細胞群の周辺に現れる細胞を加えた3D 像(第3図 F, F'から), これら細胞も下層細胞群(第3図 A)の上に最初に存在する細胞群である.



第2図 根の連続横断切片

以上の観察から, 下記の図のように考えている.



第4図中心柱先端の細胞群構造

Pc; 内鞘 Pl; Plerome Vi; 中心柱始原細胞

まとめ

連続薄切片像から3D 像構築により, 根先端中心柱の細胞群の組織構造の組み立てを提起したい. Vi が中心柱の始原細胞であり, Plerome は通常不活発であり, 両者の繋がりはないと考える.

## P-5 冠水温が普通ソバ苗の回復期の地上部および地下部生育に及ぼす影響

曾根千晴\*・天野顕史

秋田県立大学生物資源科学部

\*連絡先(ccsone@akita-pu.ac.jp)

日本において普通ソバ(ソバ)は水田転換畑による栽培が全体の7割ほどを占めている。ソバは湿害に弱い。排水性の悪い水田転換畑での収量は低く、湿潤・湛水を対象に研究が行われてきた。近年は湿害に加え、異常気象等による河川の氾濫によりソバにおいても洪水被害も発生している。しかし、イネと比べこれまでは畑条件での栽培が多かったソバでは、植物体が全て水面下に沈むような冠水の影響についてほとんど調べられていない。これまでの研究で、冠水によるソバの生育および収量への影響は冠水する生育時期によって異なり、特に生育初期の冠水によって収量は大きく低下した(曾根ら、日本作物学会第253回講演要旨集, 2022)。冠水した季節によっても冠水後のソバの回復程度は異なり、原因として冠水温の影響が考えられた。本研究では生育初期のソバに水温を変えて冠水処理し、冠水後の生育の回復への影響を調査した。



写真1: 播種後9日目の冠水処理の様子。水槽内右側の黒い筒型は水中ヒーター。水槽手前の白いボックスが循環ポンプ。

**【材料と方法】**材料として東北地方の主要品種「階上早生」を用いた。稲育苗粒状培土を充填した1.3Lポットに播種した。出芽後に1鉢2本植えに間引き、その後冠水処理期間以外は収穫まで室温約28°Cのガラス温室で畑状態で栽培した。播種後9日目より室温が管理された植物工場に植物体を運び、冠水処理を行った。冠水処理は植物工場内に設置したアクリル水槽に、植物体の最上位の葉先から20cm上まで湛水し、その中にポットを沈めることで行った(写真1)。処理区として20°C、25°C、30°C、35°Cの冠水温の区を設け、冠水期間は1日間と2日間を設けた。アクリル水槽内に水中ヒーターと水の循環のためのポンプを設置し、処理期間を通じて設定水温を維持した。冠水処理終了後は直ちにポットを水槽から取り出し、ガラス温室に戻した。処理終了1週間後に植物体を収穫し、草丈、SPAD値、地上部乾物重、地下部乾物重を測定した。播種後21日目にも同様の処理を行う区を設けた。**【結果・まとめ】**播種後9日目に冠水処理した区の地上部乾物重では、冠水期間に関わらず30°Cの冠水によって著しく減少し、次に35°C冠水区、20°C冠水区の順で減少が大きかった。20°Cおよび25°C冠水では、1日冠水では地上部乾物重の減少程度が小さかったが、2日冠水によ

って大きく減少した。地下部乾物重も地上部乾物重と同様の傾向を示したが、地上部乾物重に比べ地下部乾物重の方が減少程度は小さかった。播種後21日目に冠水処理した区の茎葉部乾物重は30°Cおよび35°C冠水区の2日間処理区で減少が大きく、地下部乾物重も同様であった。以上より、ソバにおいて冠水時の水温はその後の生育の回復に大きく影響した。気温が高い時期の冠水は被害を大きくし、特に出芽直後の冠水で被害が大きいたことが判明した。

## P-6 高温登熟障害耐性程度が異なるイネ品種の高温に対する根系特性

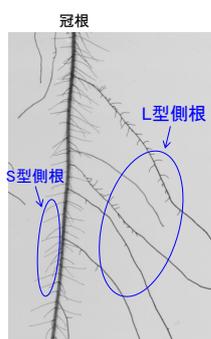
豊福恭子<sup>1)</sup>・吉野早紀<sup>2)</sup>・小川敦史<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>秋田県立大学生物資源科学部, <sup>2)</sup>秋田県立大学大学院生物資源科学研究科

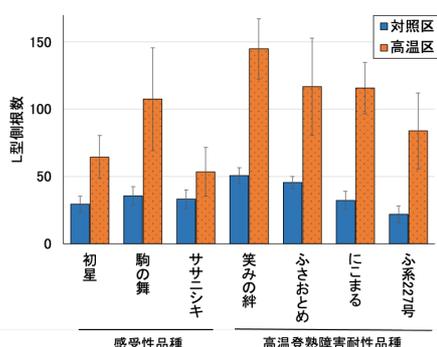
\*連絡先 (kyotoyo@akita-pu.ac.jp)

地球温暖化の進行に伴い日本では猛暑日や熱帯夜が有意に増加しており、稲作の現場では玄米品質を低下させる高温登熟障害が全国的に頻発している。発表者らは出穂期において、高温登熟障害耐性品種の「ふさおとめ」が高温下でも光合成速度および蒸散速度が高く維持継続されることを現在までに明らかにしている。「ふさおとめ」などの高温登熟障害耐性品種は玄米の品質低下すなわち白未熟粒率が有意に低い。出穂期の高温下でも光合成と根からの吸水を維持することで穂への転流を維持していることが要因と考えられる。このことは養水分吸収を担う根系の生育が高温下でも維持されていることが推測されるが高温条件下での実際の根系の詳細についての報告は少ない。そこで本研究では、高温登熟障害耐性程度が異なるイネ品種を用いて、高温に対する根系の特性を幼植物体の段階で比較調査した。

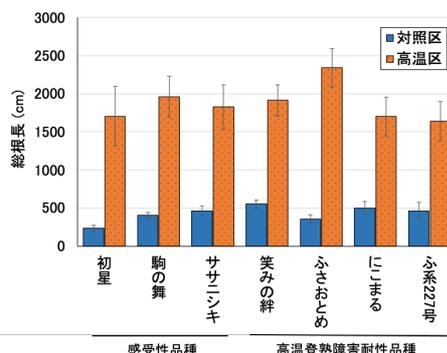
供試品種として、高温登熟障害耐性4品種（ふさおとめ・笑みの絆・にこまる・ふ系 227 号）と感受性3品種（初星・駒の舞・ササニシキ）の計7品種を用いた。催芽処理後、高温区（日中 35°C/夜間 30°C）と対照区（25°C/20°C）を設定し、人工気象器内において14日間水耕栽培をおこなった。その結果、定植後14日目の地上部乾物重、草丈、根乾物重および根系諸形質は、各品種とも高温区の方が対照区より高い値を示した。特に感受性品種の草丈の高温区/対照区の値は高温登熟障害耐性品種と比べて有意に高い値を示した。根系諸形質に関しては、L型側根の発生数が各品種とも高温処理により増加していたが、高温登熟障害耐性品種の発生増加率はいずれも高かった。高温下でL型側根を増加させることで根系を拡大し吸水を維持していると推測された。一方、感受性品種の「初星」と「ササニシキ」の高温処理によるL型側根の発生増加率は著しく低かった。しかしこれらの品種は高温処理により冠根数の増加が見られたため、高温に対してL型側根ではなく冠根数を増加させ根系を拡大していることが示唆された。



イネ根系のS型・L型側根の形態的特徴



第1図 イネ高温登熟障害耐性品種および感受性品種の高温処理によるL型側根数の変化



第2図 イネ高温登熟障害耐性品種および感受性品種の高温処理による総根長の変化

## P-7 塩分ストレスが C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 植物の生育, 光合成に与える影響

鈴木健斗\*<sup>1)</sup>・岩崎泰永<sup>1)</sup>

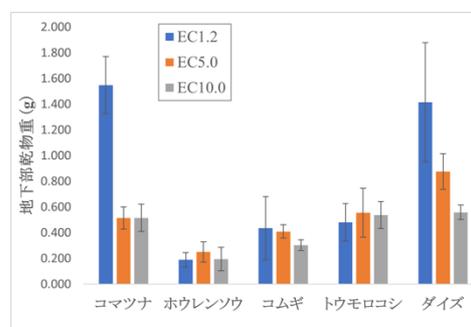
<sup>1)</sup> 明治大学農学部

\*連絡先 (ef200086@meiji.ac.jp)

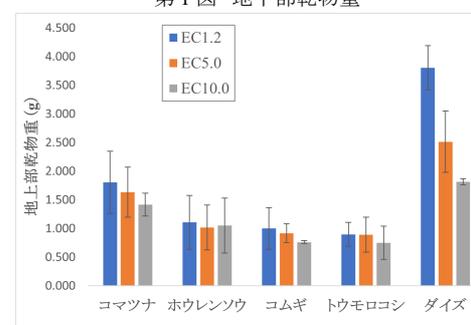
[目的] 不適切な養水分管理に起因する塩類集積は土壌劣化の主要因であり世界的な問題である。塩分ストレスによる作物の生育不良は、根の損傷や根域の水ポテンシャル低下による養水分吸収量の減少、または気孔の閉鎖による光合成能力の低下、およびそれに付随する体内活性酸素の増加により生じる細胞の損傷などが考えられる。一般に C<sub>4</sub> 植物は水分ストレスに強いとされ、塩類集積が進行した土壌にも適応しやすいと考えられる。そこで本実験では、塩分ストレスが作物の生育や光合成に及ぼす影響について成長解析を行い比較することを目的とする。

[材料および方法] コマツナ・わかみ、ハウレンソウ・クロノス、コムギ・ゆきちから、トウモロコシ・ゴールドラッシュ、ダイズ・サッポロミドリを供試し、明治大学黒川農場（川崎市麻生区）の実験用ハウスで栽培した。2022年12月11日にバーミキュライトを用いてセルトレイに播種し、12月29日、2023年1月4日、8日に10.5 cmのポリポットにヤシガラ培地を充填して鉢上げした。培養液に OAT ハウス 1 号、2 号を使用し、電気伝導度 (EC) が 1.2 mS/cm となるように調整した。これに NaCl を加えて EC を 5.0, 10.0 mS/cm にした培養液を与えた 3 処理区 (以下それぞれを EC1.2 区, EC5.0 区, EC10.0 区とする) を設けた。鉢上げ時および 2023 年 2 月 1 日、3 月 1 日に解体調査 (処理区あたり 5 株) を行い、草丈、葉面積、新鮮重、乾物重を調査した。Relative Growth Rate (RGR), Net Assimilation Rate (NAR), Leaf Area Ratio (LAR) の値を算出した。地上部と地下部の乾物重の割合である T/R 率を算出した。解体調査後にグロースチャンバー内で CO<sub>2</sub> 濃度の減少から光合成速度を測定した。

[結果および考察] 総乾物重はコマツナ、コムギ、ダイズにおいては EC が高くなるにつれて低下したが、ハウレンソウとトウモロコシでは大きな影響はみられなかった。コマツナ、コムギ、ダイズは NaCl を添加すると RGR, NAR が低下し、LAR が増加した。また、葉面積は EC が高くなるほど小さくなった。T/R 率は EC が高くなるほど大きくなり、高 EC の影響は地上部よりも地下部のほうが影響が大きかった。ハウレンソウとトウモロコシは EC10.0 区の RGR が高く、これは NAR が高いことに起因した。また、この場合、光合成速度は EC1.2 区と EC5.0, 10.0 区で同程度に推移した。このことから C<sub>4</sub> 植物であるトウモロコシは塩分ストレス下においても高い光合成能力を維持し、生育に対する影響が少ないことが示された。一方、C<sub>3</sub> 植物であってもハウレンソウは塩分ストレスに強いことが知られているが、トウモロコシ同様、塩分ストレス下においても光合成能力が低下しにくいことが明らかとなった。



第1図 地下部乾物重



第2図 地上部乾物重



## **P-8 Changes in native arbuscular mycorrhiza fungus colonisation along crop growth stages in upland rice-winter crop rotation with 4 preceding land uses**

Pacharo Kamanga<sup>1</sup>, Akihiko Kamoshita<sup>1</sup>, Ryo Ohtomo<sup>2</sup>

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo<sup>1</sup>, National Agriculture and Food Research Organisation<sup>2</sup>  
akamoshita@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

The management of native arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) to produce effective communities by adopting appropriate soil management practices represent a convenient alternative to AMF inoculants and may be economically and ecologically important to cropping systems but there are only few examples of studies providing an overview of AMF colonisation in rice roots under upland rice ecosystems and there is still no clear picture of how the association may be exploited to benefit crop yield directly in fields. The purpose of this study was to evaluate the effects of preceding land management practices and crop growth stages on arbuscular mycorrhizal fungus colonisation in upland rice-winter crop rotations.

Four preceding land management practices in the upland field were used during summer 2021, rice with inoculant (RI), rice without inoculant (RC), fallow (F), and vinyl mulch (V). Upland rice variety (cv Hitachihatamochi) was planted in summer 2022. This was followed by rye and wild oat in winter 2022/23. The levels of mycorrhization were measured at different growth stages.

The highest levels of colonisation were observed from anthesis, dough development to maturity stages whereas infection rates were lower from seedling, tillering to stem elongation stages. Previous land uses had significant effect AMF colonisation with higher colonisation in F than and RI, RC and V. Plant height was highest in V (80 cm) and lowest in F (70 cm). The number of copies of DNA of AMF in the roots tended to show insignificant but gradual increase from early December to end of February which tended to down toward middle of April on average of the 2 species. Tiller numbers per plant tended to be higher in V than RC. Rye had more vigorous shoot growth and root properties (i.e., root diameter, root length density, root surface area, root dry weight) than wild oat, and but no significant differences in AMF infection were found between them according to the copy numbers of DNA.

The study shows AMF colonization dynamically increased in case of rice from early growth stages to anthesis to maturity stages by the microscopic observation while for winter crops, the dynamic changes were smaller by the measurement of DNA copy numbers in roots.



## **P-9 Phenotyping short-term growth response of rice root system topology through image-based time series analysis**

Via Ann Candelaria MARCELO<sup>1)</sup>, Hiroshi EHARA<sup>2)</sup> and Mana KANO-NAKATA<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University,

<sup>2)</sup>International Center for Research and Education in Agriculture, Nagoya University,

\*Corresponding author (mnakata@agr.nagoya-u.ac.jp)

Root system topology is associated with the efficiency of water and nutrient uptake, which affects shoot development and yield formation. As soil water is rarely constant but continues to change in the field, we created a phenotyping system composed of a dual-layered moisture gradient gel, allowing us to simulate the dynamic nature of soil. In this study, we compared the growth response of two rice varieties, IR64 (shallow-rooting) and Kinandang Patong (KP, deep-rooting), under two treatments, representing moisture gradient stress and control conditions. The stress treatment consisted of an upper layer containing 10% polyethylene glycol (PEG) and 1.5% gellan gum (GG), while the bottom layer lacked PEG. In contrast, the control treatment composed a single layer of GG without PEG. Scanned images were captured at a 24-hour interval over ten days and analyzed using SmartRoot (Lobet et al., *Plant Physiol.* 157: 29-39. 2011) and archiDART (Delort et al., 2018. *F1000Res.* 7: 22. 2018). To quantify root dynamics, we categorized roots from zero to second order and identified its root growth status (emerging, elongating, and static). Root topological traits (root length, spatial arrangement, and branching patterns) were measured. Our results revealed that KP exhibited significantly greater production and length of 1<sup>st</sup> order L-type lateral roots (LR), primarily driven by longer individual 1<sup>st</sup>-order L-type LR and 2<sup>nd</sup>-order LR. Moreover, KP displayed wider interbranch distances (0.1015 cm) than IR64 (0.0921 cm). These root system characteristics led to higher shoot dry weight (0.0101 g) in KP than in IR64 (0.0078 g). The observed increases in L-type LR length and number were associated with emerging and elongating roots on day 4, elongating roots from days 5 to 7, and the introduction of 2<sup>nd</sup>-order roots during days 8 and 10 relative to control. In contrast, IR64 produced thinner and longer zero-order roots, and while there was an increase in 1<sup>st</sup>-order L-type LR number, it had individually shorter 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup>-order LR, with reduced branching angle to its parent root. Emerging and elongating nodal roots from days 6 to 8 contributed to longer zero-order roots. However, these increases hindered further growth of L-type LR from days 6 to 7 relative to KP. Overall, these findings suggest that the root system of KP is better adapted to moisture gradient stress enabling higher shoot dry matter production. Using a non-destructive phenotyping system provides a comprehensive insight into rice root growth dynamics and topology under water stress conditions.

**P-10 畝立ておよびビニルマルチがトウモロコシ・ササゲ混作の根系分布に及ぼす影響**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(cf220227@meiji.ac.jp)

作物の空間利用において、畝立てにより立体的に作物の分布を変化させ、畝と畝間で資源の配分や利用を最適化することが挙げられる(Liu et al., 2022)。しかし、畝間混作において作物の土壌空間の利用を理解するために、根系分布を明らかにした研究はほとんど見当たらない。一方で、ビニルマルチの被覆によって畝内の土壌水分を高く維持することができるが、畝間の水分動態も変化する(宮本ら., 2017)。そのため、畝間混作に適用した場合、両作物の根系分布は通常の畝間混作とは異なると考えられる。そこで本研究では、畝立ておよびビニルマルチがトウモロコシ・ササゲ混作の根系分布に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

**【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。供試品種はトウモロコシ(キャンベラ 90EX)、ササゲ(IT97k-499-35)を用いた。試験区は、平植え区(F区)、畝立て区(R区)、畝立て+黒マルチ区(MR区)の3処理区を設けた。畝立ては南北方向にベッド幅30cm、畝幅60cm、畝高20cmで行った。2022年7月2日にそれぞれ株間25cm、両作物間75cmで播種した。R区とMR区において畝にはササゲを播種した。施肥はN:P:K=4:9.3:13.3 g/m<sup>2</sup>を施用した。両作物の収穫時にそれぞれ地上部乾物重と葉面積を測定した。根系調査は各処理区2反復で行った。両作物の根圏を含む幅100cm、深さ20cm、奥行20cmの範囲をそれぞれ10×10×20cmのモノリスに分割した。得られた各モノリスからは根乾物重、根長、根径別の根長、根長密度などの根系特性を調査した。根径による分類はWinRHIZOを用いて行い、根径が0.2mm未満(極細根)、0.2mm~0.4mm(細根)、0.4mm以上(太い側根および主根)と定義した。土壌体積含水率は、土壌水分センサー(EC-5, METER社)を各処理区の条間の深さ10cmおよびR区、MR区の畝内の深さ10cm、30cmに設置した。

**【結果および考察】**

生育期間中のR区とMR区の畝内の土壌体積含水率は、深さに関わらずMR区の方が高かった。また、条間の土壌体積含水率はF区<R区<MR区の順で高くなった。畝立てにより畝間の透水性の向上やマルチに跳ね返った降雨の浸透が考えられた。根系分布は処理区で異なっていた。F区はトウモロコシが細根を中心に根長密度を増加させ、目視の観察からササゲ方向へ根を侵入させる傾向にあった。R区はF区に比べトウモロコシのササゲ方向への根の侵入量は少なかった。ササゲは畝下30cmで根長密度を増加させた。MR区はR区に比べササゲの全ての根径別の根長が増加した。また、畝表面の根長密度が高かった。トウモロコシの地上部乾物重は処理区間で有意差は認められなかったが、F区のT/R比はR区、MR区と比べ低かった。ササゲはF区<R区<MR区の順に地上部乾物重が有意に増加した。

以上より、F区は養水分を獲得するためにトウモロコシのササゲ方向への根の侵入量が増加したと示唆された。また、畝立ておよびマルチによりササゲの根の養水分吸収機能が向上し、分枝の発生が促進され、葉面積を拡大させたことで地上部乾物重が増加したと考えられた。

**【謝辞】**本研究は、農業生物資源ジーンバンクより種子分譲を受けて実施された。

P-11 樹木細根における解剖構造の土壌深度に対する応答  
～スギとヒノキの異なる原生木部数～

細井彩\*<sup>1)</sup>・朝倉知佳<sup>1)</sup>・坂下凜<sup>1)</sup>・増本泰河<sup>2)</sup>・牧田直樹<sup>1)</sup>

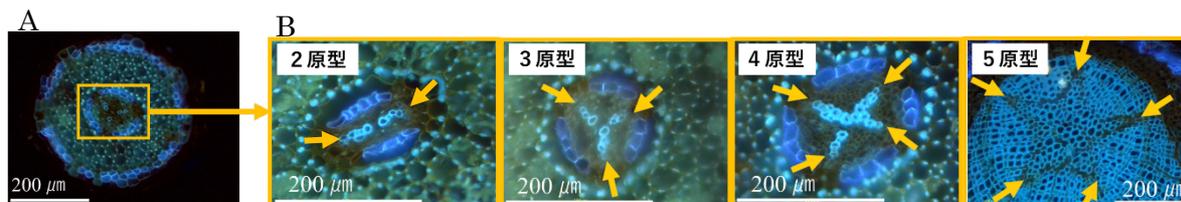
<sup>1)</sup>信州大学大学院総合理工学研究科, <sup>2)</sup>信州大学大学院総合医理工学研究科

\*連絡先(syk.hosoi13@gmail.com)

土壌から養水分を吸収し輸送する樹木細根の多くは、寿命が短く、短期間で枯死し土壌へ供給される。一方、細根の機能に関する情報の多くは土壌表層の細根を対象としており、深部の土壌に分布する細根が同じ機能を発揮するかは未解明である。本研究では、細根寿命の指標となる根解剖特性の原生木部 (PX) の数に着目し、土壌深度に伴う細根寿命の特徴変化を評価した。さらに、吸収・輸送機能に関連する皮層・中心柱の解剖測定により、細根機能の土壌深度に伴う変化と細根寿命との関係を解明することを目的とした。

本研究の調査は、2022 年夏季に手良沢山演習林にて行われた。対象樹種は、スギとヒノキで、共に針葉樹の内生菌根種という特徴を持つ。各個体の近傍に深度 100 cm の土壌断面を作成し、土壌 0-20 cm (表層), 20-50 cm (中層), 50-100 cm (深層) の各層から細根系を採取し洗浄した。本研究では、先端を1次根とする分岐次数階級において3次根以上の根系を対象とし、実体顕微鏡下にて1次根, 2次根, 3次根の横断面を作成した。次に蛍光顕微鏡を用いて個根の横断面におけるPX数を観察し(第1図), 各土壌層において、観察した横断面数における各PX数の根の割合を算出した。また、撮影した横断面画像から、1, 2次根における根直径, 中心柱直径, 皮層幅を測定した。

結果、土壌深度に対する解剖特性の応答はスギとヒノキで異なっていた。スギにおいては、土壌深度に対するPX数の割合変化は生じなかった。一方、ヒノキ1-3次根において、土壌表層から深層にかけて2原型の割合が減少し4原型が増加した。2原型に比べ4原型の細根は二次成長へ達する細根が多いことが知られている。二次成長は細根の物理的ストレス耐性を高めるため、二次成長する細根は長寿命である。したがって、土壌深層にかけてスギ細根は寿命を変化させず、ヒノキ細根は寿命を長くしていると考えられる。また、両樹種で中心柱直径は土壌深層にかけて肥大したことから、軸輸送機能の向上が示唆された。さらに、PX数の多い細根ほど中心柱直径は大きく、特にヒノキに比べスギにおいてより顕著であった。この結果から、土壌深度に沿って軸輸送機能を向上させる手段は、スギとヒノキで異なると考えられる。つまり、スギはPX数の割合を顕著に変化させず、各PX数による中心柱直径の増加率を高めることで軸輸送機能を向上させる一方、ヒノキは、各PX数による中心柱直径の増加率は低いが、PX数割合を顕著に変化させ、軸輸送機能を向上させると考えられる。本研究の結果は、細根寿命の土壌深度応答がスギとヒノキで異なると共に、土壌深層における細根の軸輸送機能の向上は、PX数の割合と各PX数の中心柱直径の変化の2パターンによって生じていると示唆する。



第1図 ヒノキ細根の横断面の蛍光画像。Aはヒノキ細根横断面の全体像。Bは中心柱を示す。第1図B内の矢印は原生木部を指す。原生木部数に応じ、2原型, 3原型, 4原型, 5原型に分類される。

## P-12 イネにおける側根原基の可塑的な発生機構の解析

櫛田聖也<sup>1)</sup>・赤星良輔<sup>1)</sup>・河合翼<sup>1,2)</sup>・犬飼義明<sup>\*3)</sup>

1) 名古屋大学大学院生命農学研究科, <sup>2)</sup> 農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門,

<sup>3)</sup> 名古屋大学農学国際教育研究センター

\*連絡先 (inukaiy@agr.nagoya-u.ac.jp)

### 【背景と目的】

イネ科植物の側根には、形態的に大きく異なる2種類の側根(細く短いS型側根と、太く長いL型側根)が存在する。土壌の乾燥が進行する際には、耐性系統はL型側根の発生を著しく促して根域を拡大することで水吸収量の低下を防ぎ、地上部生育の維持を図る。興味深いことに、S型側根原基の発生が途中まで進んだ後にその近傍にて親根を切除すると、発生運命の変調が生じてL型側根原基へと分化する(Kawai et al., *Plant Root*, 2017)。そこで本研究では、共焦点レーザー顕微鏡を用いて、分裂活性やオーキシン信号伝達の可視化、L型側根形成を促す *OsWOX10* (Kawai et al., *PNAS*, 2022) や組織特異的な発現性を示すマーカー遺伝子群を利用することで、側根原基発生パターンの変調機構を解析した。さらに、S型・L型両側根原基における遺伝子網羅的な発現解析を行い、L型側根形成を促す *OsWOX10* の下流遺伝子の探索を試みた。

### 【材料と方法】

オーキシン応答性人工プロモーターである *DR5*、および組織特異的に発現する遺伝子や *OsWOX10* プロモーター下流に蛍光タンパク質を繋げたコンストラクトを野生型イネ品種(台中 65 号)に導入した形質転換体を作成し、側根原基の発生運命変調時における発現変動性を観察した。同様に、EdU 染色により原基変調時における細胞分裂の挙動変化を観察した。加えて、LMD 法を用いて台中 65 号の S 型・L 型両側根原基をサンプリングし、トランスクリプトーム解析を行うことで、両側根原基間で発現変動する遺伝子を選抜した。

### 【結果と考察】

S 型から L 型へと側根原基の発生パターンを変調させた際には、まず原基全体での細胞分裂が一旦停止するとともに、オーキシンシグナルやオーキシン応答性である *OsWOX10* の発現が原基基部側で促されることが判明した。その後、主に内皮細胞層にて発現する *OsSCR* の発現強度、および根冠領域で発現する *OsNAC7* の発現領域がそれぞれ変化し、これらの過程を経た後に細胞分裂が再活性化され、最終的に L 型側根原基が完成することが明らかとなった。従って、側根原基の発生運命変調は、既に進行中の発生プログラムを一旦停止させるとともに、より初期状態へと戻してから L 型化誘導プログラムへと書き換えることにより促されることが考えられる。

加えて、両側根原基間におけるトランスクリプトーム解析により、L 型化を促す候補として 23 個の遺伝子が選抜された。これらの中には発生プログラムの初期化に関わる転写因子や分裂パターンの制御を通して器官の形態変化を導くホルモン関連遺伝子が含まれており、経時的な発現解析結果とあわせ *OsWOX10* 下流候補遺伝子である可能性が示唆された。

P-13 塩分ストレスの履歴がコマツナの地上部、地下部の生育に及ぼす影響

大井克人<sup>\*1)</sup>・岩崎泰永

<sup>1)</sup> 明治大学農学部

\*連絡先 (ef220147@meiji.ac.jp)

[目的]

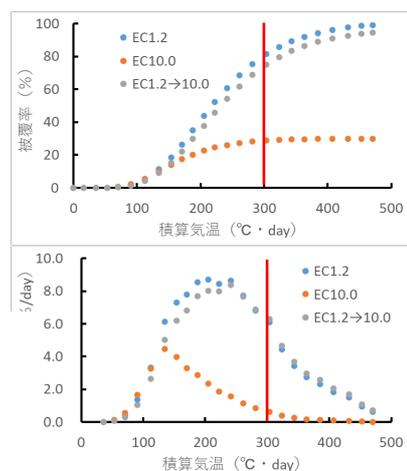
塩分ストレスは作物の生育に大きな影響を及ぼすことが知られている。しかし、塩分ストレスの影響を生育段階別に評価した研究は少ない。本研究は、異なる塩分ストレス下で栽培したコマツナの生育を成長解析の手法で生育段階に分けて調べ、生育途中で塩分ストレスの強度を変更した場合、塩分ストレス条件の変化(履歴)が生育に及ぼす影響を調べた。

[材料および方法]

2023/4/16 にパーミキュライトを充填した 128 穴セルトレイにコマツナ品種‘やわらか小松菜’の種子を一穴あたり一粒ずつ播種した。塩分ストレスの異なる 3 処理を設定し、それぞれセルトレイを 1 枚ずつ割り当てた。塩分ストレスは底面から供給する培養液に NaCl を添加して設定した。培養液は OAT1 号, 2 号(OAT)を用い、EC1.2 dS/m に調整した。これに NaCl を添加して EC10.0dS/m とした培養液を与えた区を EC10.0 区とした。また、発芽後から 4/30 まで EC1.2 区と同様な管理を行い、5/1 以降、NaCl を添加した EC10.0 区の培養液で管理した区を設定し、EC1.2→10.0 区とした。発芽後から実験終了まで NaCl を添加しない培養液で栽培した区を EC1.2 区とした。発芽後はセルトレイの上面からスマートフォンのカメラでセルトレイ上のコマツナ苗を撮影し、canopeo(<https://canopeoapp.com>)を利用して被覆率を求めた。4/30 (播種後からの積算気温で約 300°C・日)、5/5 (同, 400°C・日)に各区 5 個体を抜き取り、地上部、地下部の乾物重、葉面積を調査した。葉面積は ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij>)を用いて計測した。得られたデータから RGR,NAR,LAI,SLA, T/R 率を求めた。

[結果と考察]

各処理区の被覆率をゴンペルツ曲線( $y=kb^x \exp(-cx)$ ;y:被覆率,k,b,c:定数,x:積算気温)で近似し、この関数を微分した(第 1 図)。積算気温で 130°C・日までは被覆率の増加程度は処理区間に差はなかったが、その後、EC10 区で急激に低下した。EC1.2→10.0 区と EC1.2 区では被覆率の増加率には大きな差はみられなかった。RGR は EC1.2 区で高く、EC10.0 で低かった。RGR の違いは NAR の差であり、LAR には差がみられなかった。T/R 率は塩分ストレスによって大きく増加し、地上部よりも地下部の生育は影響を受けやすいことが示された。一方、栽培の途中から塩分ストレスをかけた



第 1 表塩分ストレスの違いが、RGR,NAR,LAR, SLA および T/R に及ぼす影響

| 試験区        | RGR(g/g/d) |        | NAR(g/m <sup>2</sup> /d) |        | LAR(m <sup>2</sup> /g) |        | SLA(m <sup>2</sup> /g) |        | T/R   |        |
|------------|------------|--------|--------------------------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|-------|--------|
|            | 0-12d      | 12-17d | 0-12d                    | 12-17d | 0-12d                  | 12-17d | 0-12d                  | 12-17d | 0-12d | 12-17d |
| EC1.2      | 0.291      | 0.151  | 13.8                     | 8.0    | 0.176                  | 0.019  | 0.031                  | 0.029  | 1.53  | 1.81   |
| EC1.2→10.0 | 0.291      | 0.101  | 13.8                     | 5.0    | 0.176                  | 0.020  | 0.031                  | 0.030  | 1.53  | 2.52   |
| EC10.0     | 0.181      | 0.129  | 6.2                      | 6.6    | 0.177                  | 0.020  | 0.024                  | 0.023  | 5.20  | 4.32   |

第 1 図 塩分ストレスの違いが、被覆率の推移に及ぼす影響 実測値をもとに Gompertz 曲線で近似。



EC1.2→10.0 区は, EC 変更後に NAR が低下し, RGR が低下した. しかし SLA に変化は見られず,このことが被覆率の増加率が低下しなかった要因と考えられる.塩分ストレスの変化は NAR の変化を通して短期間で RGR に反映された.一方,SLA は変化しにくく,その結果として被覆率の変化が見られなかった.以上より,光合成速度は塩分ストレス変化の影響を受けやすいが形態的な成長パターンは影響を受けにくいことが示された.

## P-14 水稻根系の発達と活性には土壤改良資材よりも栽培環境が影響する

後藤真唯子・前采花・沖中奈津実・加藤ひなた・関谷信人

三重大学生物資源学部

\*連絡先 (520117@m.mie-u.ac.jp)

【はじめに】苦土石灰とゼオライトは、それぞれ土壤の酸度を矯正し、塩基保持能力を高める。また両資材とも塩基供給能を持つ。両資材は古くから土壤改良資材として耕地へ投入されてきたが、近年、根の発達や活性の向上を期待して農家が積極的に水田に投入する動きがみられる。水稻根系の発達や活性は栽培する土壤環境に大きく影響を受ける。そこで本研究では、水稻根系の発達と活性においては、苦土石灰やゼオライトよりも栽培環境の影響の方が大きいという仮説を検証する。

【材料と方法】京都府与謝野町において、地力と水管理が異なる A 地区と B 地区のそれぞれから 3 圃場を抽出し、苦土石灰区 (180 kg 10a<sup>-1</sup>)、ゼオライト区 (180kg 10a<sup>-1</sup>)、無処理区とした。2022 年 3 月に、米糠、おから、魚あらを原料とする有機肥料に加え、各資材を投入し、5 月にコシヒカリを移植した。幼穂形成期と出穂期に、根重、地上部乾物重、出液速度を測定し、成熟期には収量を測定した。

【結果と考察】A 地区では、幼穂形成期と出穂期の根重、単位根重あたりの出液速度、地上部乾物重、成熟期の収量に各処理区間で有意差はなかった。B 地区の幼穂形成期では、無処理区に比べて両資材区で根重が低く、ゼオライト区で地上部乾物重が低かったが、出穂期と成熟期のいずれの変数においても、処理区間で有意差はなかった。これらの結果は、両資材が B 地区のような栽培環境の幼穂形成期を除いて根系の発達や活性に有意な効果を与えないことを示している。一方、幼穂形成期と出穂期のいずれにおいても、根重は A 地区よりも B 地区で大きく、単位根重あたり出液速度は A 地区よりも B 地区で小さかった。地上部乾物重は幼穂形成期で A 地区よりも B 地区で大きかったものの、出穂期では地区間で有意差がなくなり、収量も地区間で有意差がなかった。以上から、両資材よりも栽培環境の方が水稻根系の発達と活性に与える影響は大きいことが明らかになった。本研究は、栽培環境により水稻根系の構造と機能が変化することで、地上部生育が一定に維持されている可能性を示唆した。

第 1 表

| 地区 | 資材    | 幼穂形成期                      |  |                                | 出穂期                        |  |                                | 成熟期                           |
|----|-------|----------------------------|--|--------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|
|    |       | 根重<br>(g m <sup>-2</sup> ) | 単位根重あたりの<br>出液速度<br>(g g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) | 地上部乾物重<br>(g m <sup>-2</sup> ) | 根重<br>(g m <sup>-2</sup> ) | 単位根重あたりの<br>出液速度<br>(g g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) | 地上部乾物重<br>(g m <sup>-2</sup> ) | 収量<br>(kg 10a <sup>-1</sup> ) |
| A  | 無処理   | 42 ± 2.2 b                 | 1.6 ± 0.44 a   | 124 ± 4 b                      | 79 ± 5.9 bcd               | 1.0 ± 0.29 a   | 509 ± 33 n.s.                  | 588 ± 37 n.s.                 |
|    | 苦土石灰  | 40 ± 1.9 b                 | 1.2 ± 0.17 ab  | 110 ± 13 b                     | 72 ± 3.6 cd                | 0.8 ± 0.15 ab  | 493 ± 33 n.s.                  | 576 ± 20 n.s.                 |
|    | ゼオライト | 47 ± 3.2 b                 | 1.0 ± 0.12 abc   | 118 ± 11 b                     | 69 ± 2.4 d                 | 0.7 ± 0.06 ab  | 446 ± 22 n.s.                  | 708 ± 59 n.s.                 |
| B  | 無処理   | 119 ± 17.5 a               | 0.3 ± 0.09 c   | 173 ± 11 a                     | 119 ± 7.5 a                | 0.2 ± 0.06 b   | 528 ± 31 n.s.                  | 516 ± 47 n.s.                 |
|    | 苦土石灰  | 66 ± 3.4 b                 | 0.3 ± 0.04 bc  | 135 ± 9 ab                     | 105 ± 5.6 ab               | 0.3 ± 0.10 ab  | 510 ± 22 n.s.                  | 595 ± 33 n.s.                 |
|    | ゼオライト | 72 ± 9.4 b                 | 0.4 ± 0.03 bc  | 108 ± 5 b                      | 103 ± 9.2 abc              | 0.3 ± 0.07 ab  | 563 ± 42 n.s.                  | 623 ± 21 n.s.                 |

\* 各値は、平均値±標準誤差 異符号は処理区間で有意差があることを示す

【謝辞】本調査においては与謝野町内の生産者の皆様と役場の皆様に多大なるご協力を頂いた。

**P-15 培養液の供給法がコマツナの生育と根の形態に及ぼす影響**澤田佳穂<sup>\*1)</sup>・中野明正<sup>2)</sup>・淨閑正史<sup>2)</sup>・塚越覚<sup>3)</sup><sup>1)</sup>千葉大学大学院園芸学研究科, <sup>2)</sup>千葉大学大学院園芸学研究院, <sup>3)</sup>千葉大学環境健康フィールド  
科学センター

(aypa2423@chiba-u.jp)

噴霧耕の一種であるドライフォグエアロポニックス(いけうち(株))でのレタス栽培で、発達した側根と根毛が視覚的に観察された(Hikosakaら, Environ. Control Biol., 2015)が、その形態的変化量を他の水耕法と比較して定量的に評価した報告はない。そこで、コマツナを DFT, NFT, 噴霧耕で栽培して比較し、培養液の供給法がコマツナの生育と根の形態に及ぼす影響を調査した。なお、噴霧耕には、培養液をより微細にして与えるシステム(以下、細霧耕)を用いた。

地上部の新鮮重は細霧耕で小さくなり、T/R 比が低下した。植物体の乾物率は細霧耕で大きくなった。根端数は細霧耕で多く、DFT で少なかった。根を顕微鏡観察したところ、DFT では根毛があまり発達しておらず、NFT, 細霧耕で発達していたことから、NFTと細霧耕で根をより詳細に比較した。側根長は細霧耕が長く、推定根毛数が細霧耕で大きくなった。長さ別の根毛数を比較すると、二次側根で 0~0.1 mm と 0.2~0.3 mm の根毛数が細霧耕で多く、また 1.4 mm 以上の根毛は細霧耕でのみ認められた。よって、細霧耕では比較的長い根毛をもち、二次側根では多数の短い根毛を持つことが明らかとなった。以上の結果より、培養液の供給法はコマツナの生育と根の形態を変化させ、細霧耕では側根や根毛が発達することが定量的に明らかとなった。

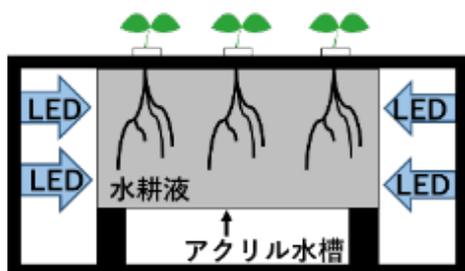
## O-1 根への異なる波長照射がコマツナの生育と栄養成分含有量に与える影響の解明

金俊輔<sup>\*1)</sup>・豊福恭子<sup>2)</sup>・小川敦史<sup>2)</sup>

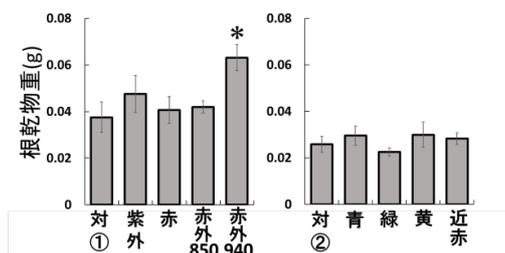
<sup>1)</sup>秋田県立大学大学院生物資源科学研究科, <sup>2)</sup>秋田県立大学生物資源科学部

\*連絡先: M25G013@akita-pu.ac.jp

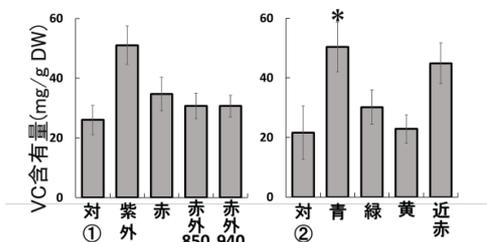
一般に、植物の栽培は根に光を当てることなく行われる。そのため、地上部での光強度や異なる波長照射が植物の生長や成分に与える影響については明らかにされつつあるが、根への波長照射の影響についてはこれまでほとんど明らかになっていない。本研究では、紫外光 (397 nm), 青 (464 nm), 緑 (506 nm), 黄 (506 nm, 633 nm), 赤 (633 nm), 近赤色光 (730 nm), 赤外光 (850 nm), 赤外光 (940 nm)の 8 つの波長を根に照射しコマツナを水耕栽培し、生育およびイオン、ビタミン含有量に与える影響について検討した (第 1 図)。根の生育について、光を当てない処理区 (対照区) と比較して、根乾物重は赤外光 850 nm 照射区で有意な増加が認められた (108%) (第 2 図)。根のビタミン C 含有量は青色光照射区で有意な増加が認められ (233%), 紫外光照射区と近赤色光照射区では増加傾向が見られた (196%, 207%) (第 3 図)。地上部の生育について、地上部新鮮重はすべての処理区で有意な差は認められなかった。地上部のビタミン K1 含有量は、青色光, 緑色光, 近赤色光照射区で有意な減少が認められた (65%, 62%, 63%) (第 4 図)。本研究により根への特定波長の照射は根と地上部の生合成産物に影響を及ぼすことが明らかとなった。つまり、植物の根には光受容により地上部へシグナル伝達がされるメカニズムが存在する可能性が示唆された。



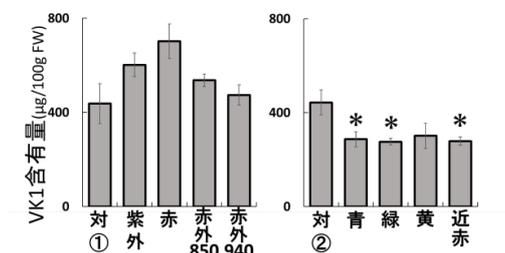
第 1 図 栽培装置の模式図



第 2 図 根圏への異なる波長照射による根乾物重へ与える影響. \*は対照区と比較して 5%水準で有意差があることを示す。



第 3 図 根圏への異なる波長照射による根のビタミン C 含有量へ与える影響. \*は対照区と比較して 5%水準で有意差があることを示す。



第 4 図 根圏への異なる波長照射による地上部のビタミン K1 含有量へ与える影響. \*は対照区と比較して 5%水準で有意差があることを示す。

## O-2 パパイアの耐寒性に及ぼす地下部加温の影響

佐伯爽<sup>1\*)</sup>・中村勇太<sup>2)</sup>・小阪舞<sup>2)</sup>・岩崎直人<sup>1, 2)</sup>

<sup>1)</sup>明治大学大学院農学研究科 (\*福島大学食農学類), <sup>2)</sup>明治大学農学部

\*連絡先 (akira-s0709@hotmail.co.jp)

### 緒言

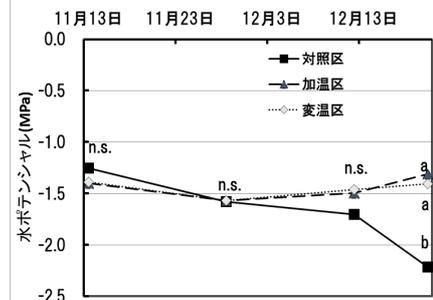
一般に、熱帯果樹は耐寒性に劣ることから、温帯地域では冬季に加温した施設内で栽培する必要がある。低温による樹体の障害は凍害と寒風害に分けることができるが、両者共に水分生理と関係がある。凍害は過度な冷却による組織の凍結が原因で、細胞質の可溶性固形物含量の影響を受ける。一方、寒風害は温度の低下に伴う空気の乾燥により葉の蒸発散が促進され、極端な脱水の結果として落葉する。寒風害を軽減するためには、根の吸水を維持することが有効と考えられるが、凍害の回避には植物体温を氷点以上に維持する必要がある。水は比熱(熱容量)が大きいので、温水は植物体温を維持する効果も期待できる。そこで、本研究では冬季に地下部を加温することで根の吸水を維持し、パパイアの寒害軽減の可能性について検討した。

### 材料および方法

本実験は、明治大学の無加温実験温室で2015年～2018年に行った。40Lの不織布ポットに植栽した4年生のパパイア‘ベニテング’を実験に供した。地下部加温処理は2017年11月2日から2018年1月12日まで行い、不織布ポットに巻きつけたラインヒーターで地下部のみを加温した。処理区は、地温が20°Cを下回った際に常時加温する「加温区」、昼間(8時から20時)は20°Cを維持し、夜間(20時～翌8時)は加温しない「変温区」および地温制御を行わない「対照区」を設け、各4樹供試した。処理期間中、耐寒性評価の指標として水分ストレス表示シートを用いた蒸散特性の評価、葉身の水ポテンシャル、浸透ポテンシャルおよび可溶性糖含量を定期的に測定した。また、2015年は地下部加温と植物体温の関係について調査を行った。

### 結果および考察

対照区では、11月下旬以降、葉の萎れが見られ、12月28日までに全ての葉が枯死した。一方、加温区および変温区では氷点下の気温が観測され始めると葉が急速に萎れ枯死した。従って、寒風害は回避できたが凍害の影響で枯死したと考えられた。蒸散特性および水ポテンシャルについて、対照区では加温区および変温区に比べ、蒸散特性が悪化するとともに、水ポテンシャルの低下が見られた(第1図)。対照区では寒風害の被害が生じたものと考えられたが、地温の低下により根の吸水力が低下したことが原因と考えられた。浸透ポテンシャルについて処理区間で有意差は見られなかった。本研究では、変温区において夜間は加温しないことで、地上部に溶質を蓄積させ耐凍性を付与させることを試みたものの、溶質は蓄積しなかった。これは、夜間に地温が下がりきらなかったことが原因である可能性ある。そのため、地下部加温の方法についてはより詳細な調査が求められるが、地下部加温により寒風害は回避できることから、凍害が生じる可能性がある日のみ地上部を加温すればよいので、燃料費の削減しつつ、パパイアの冬季の生育を維持できるものと考えられた。



第1図 葉身の水ポテンシャル

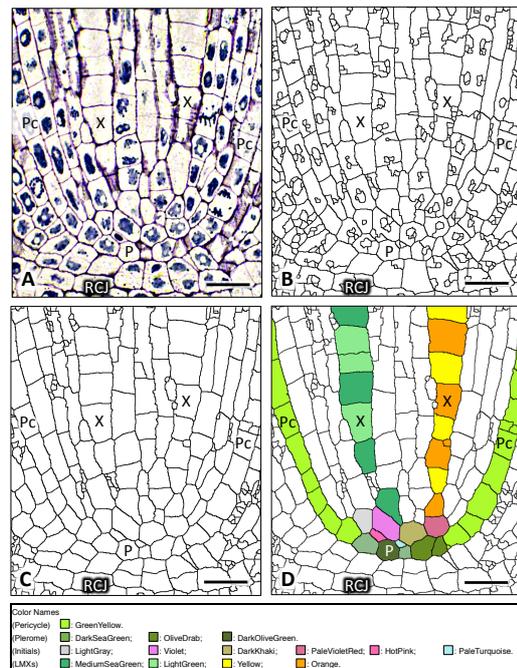
### O-3 連続薄切片顕微画像からの 3D オブジェクトの構築

幹 康<sup>\*1</sup>・仁木 輝緒<sup>1</sup>・斎藤 進<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 合同会社 ミキ音響 イメージプロセッシング部門

\*連絡先 (yas@mikion.tokyo)

テオシント根端部の縦切片顕微画像セット (60 枚) に対して、画像処理ソフト ImageJ および GIMP によるいくつかの画像処理を施し、3D オブジェクトを構築した。第1は、顕微画像からの輪郭抽出である。第1図 A に示すような核を含む細胞群から個々の細胞の輪郭を抽出する。そのために利用したツールが ImageJ で提供されている“Find Maxima”である。これは、画像の濃度が局所的に最も高い点を順次探索し、結果として、画像の輪郭を抽出するものである (第1図 B)。しかしながら、この段階ではまだ不完全で、クリンナップ処理が必要である。図に残っている不要な要素(核など)を白鉛筆で切断し、再度 Find Maima を実行する。この操作を何回か繰り返せば第1図 C が得られる。この画像は2値画像で、全ての領域は完全に閉じているので、塗りつぶしツール (GIMP) で容易に着色できる(第1図 D)。

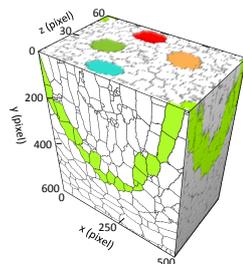


第1図

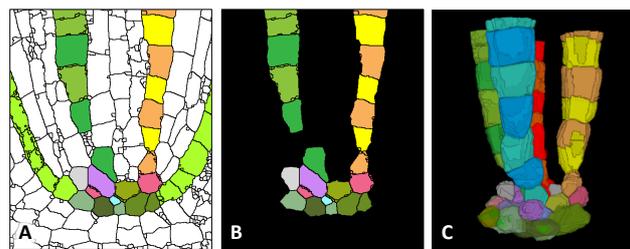
第2の画像処理は、全ての画像セットに対してGIMPを使用して位置合わせを行うとともに、ImageJ で第1図 C までの処理を施す。第3の処理として GIMP で画像セットのトリミングを行い、画像サイズを統一する。続いて、必要なセルに着色を行う。この画像セットを奥行き方向にスタックすることで 3D オブジェクト (Cuboid) が構築される (第2図, ImageJ の 3D Viewer による表示)。このスタックを ImageJ に読み込めば、“Volume Viewer” で任意の断面が表示できる。

画像セットの White と GreenYellow の部分を透明にするために、Black に変換する (第3図 A, B)。この作業を画像セットに対して一括処理できるプラグインが GIMP に提供されている (Batch Image Manipulation)。第3図 B のように処理された画像セットを ImageJ に読み込むことにより、LMX を中心に構成された 3D オブジェクトとして 3D Viewer

で表示でき、アニメーションも可能である (第3図 C)。



第2図



第3図

#### O-4 樹木根圏画像における成長・枯死根検出手法の性能比較

山形拓人<sup>\*1)</sup>・池野英利<sup>2)</sup>・木村敏文<sup>3)</sup>・磯川悌次郎<sup>4)</sup>・中路達郎<sup>5)</sup>・大橋瑞江<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, <sup>2)</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>3)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>4)</sup>兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>5)</sup>北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

\*連絡先 (takuff0630@gmail.com)

樹木細根は樹木根先端部に位置する,主に養水分を吸収する役割を担う器官である。細根は直径約 2 mm 以下の根とされることが多く,短期間で生産枯死を繰り返すといった特徴を持つ (Finer et al., *Forest Ecology and Management*, 2011)。森林において細根の純一次生産量への割合は 33%を占めていると推定されている (Jackson et al., *PNAS*, 1997)。そのため,細根動態を調べることは森林の炭素循環を解明する上で重要である。しかし森林地下部の調査は多量の労力を要するため,細根動態の研究は困難である。

土壌中の細根を観察するには非破壊的に土壌断面 (根圏) を連続撮影する手法であるミニライゾトロン法 (Boehm, *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 1974) やスキャナ法 (Dannoura et al., *Plant Root*, 2008) が用いられている。スキャナ法はあらかじめ地中に埋設していたアクリルボックスにフラッドベッドスキャナを挿入し根圏を撮影する手法である。この手法は根圏を撮影する手法として主流であるミニライゾトロン法の約 30 倍の面積を撮影することができる。これらの手法で取得した根圏画像から細根を抽出し,細根の成長・枯死を計測することで,細根動態の解析を行うことができる。しかし,従来の方法である手動での細根抽出は,膨大な時間を要しかつ判断基準による個人差が生じてしまう。

そのため,近年,深層学習を用いて細根抽出を自動で行うソフトウェアがいくつか開発されている。例えば ARATA (Yabuki et al., *Method in Ecology and Evolution*, 2022) や RootPainter (Abraham et al., *New Phytologist*, 2020), Trenchroot-SEG (Teramoto and Uga, *Plant Phenomics*, 2020) などがある。一般的に,細根自動抽出ソフトウェアは対応する根圏画像と細根抽出画像を用いて学習を行うことで,任意画像から細根の自動抽出をすることが可能となる。これらを用いることで抽出に要する時間の短縮や,一定の基準による細根抽出が可能となる。だが,これらが細根動態の検出に適しているかは未だ不明である。

そこで本研究では細根動態検出に適した細根自動抽出ソフトウェアを探索することを目的とした。調査地は兵庫県姫路市自然観察の森のヒノキ人工林とし,スキャナ法を用いて根圏画像の撮影を行った。撮影した根圏画像の細根と土壌の領域を任意の色で塗り分けることで細根手動抽出画像を作成した。本研究では 3 種の細根自動抽出ソフトウェアを比較対象とした。まず,根圏画像と細根手動抽出画像を使用しソフトウェア毎に学習を行った。次に,同一箇所撮影された根圏画像の時系列データに対して自動抽出を行った。そして,抽出した画像の細根面積を測定した。細根面積の増減の傾向や,成長・枯死根の検出結果が手動抽出のものと近いものを細根動態抽出に適していると判定した。

実験の結果,細根面積の増減の傾向は手動抽出と同じく増加傾向にあるものと,反対に減少傾向にあるものとに分かれた。成長・枯死根の検出ミスの特徴として,成長根では成長した部分が抽出できなかったケースが見られた。枯死根では元々細根が抽出されていなかったため枯死が検出できなかったケースが多く見られた。

## 0-5 土壌中の根の引き抜き・倒伏に関するモデル実験

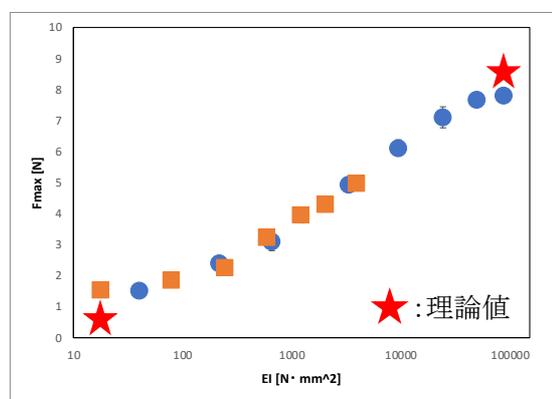
木下茉優\*<sup>1)</sup>・山口哲生<sup>1)</sup>・

<sup>1)</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

\*連絡先 (kinoshita-mayu110@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

植物の根は、土壌中で地上部を支持するアンカーとして機能し、効果的に固定力を付与することができる。しかしながら、分岐構造の各要素が固定力に与える影響は必ずしも明らかではない。本研究では、根の分岐構造が地上部の支持や土壌の強靱化に与える影響について、定量的に解明することを目的とした。現象を詳細に解析するため、3D プリンタを用いて系統的にモデル構造を作製し、その場観察を行いながら強度を測定する実験を行うことで、制御されたモデル実験系による定量的理解を目指した。

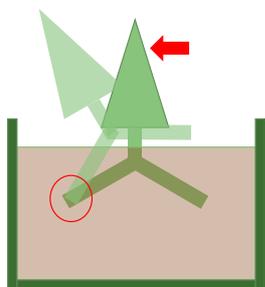
まず、根の引き抜きにおける曲げ剛性の影響を調べた。具体的には、根の曲げ剛性の異なる複数のモデル根を作製し、引き抜き力を測定した結果、両者の強い相関を見出すことに成功した(第1図)。また、やわらかい根とかたい根の極限について、土壌と根との摩擦や土壌の破壊を考慮して現象を記述する理論モデルを構築した。理論による計算結果と実験結果とを比較したところ、良好な一致が見られた。



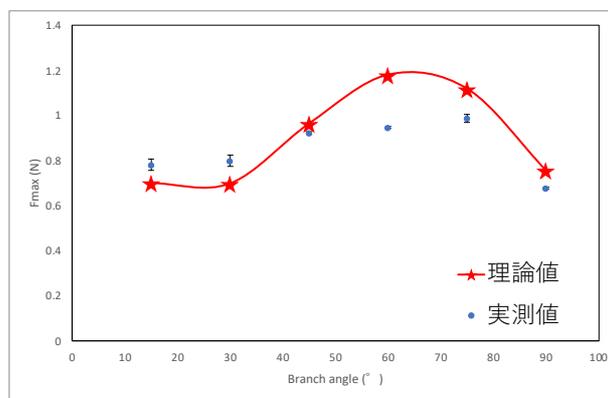
第1図 モデル根の曲げ剛性と最大引き抜き力

次に、倒伏特性に関する研究として、T/R 比を実際の樹木に近づけて約 3 に設定した、分岐角度の異なるモデル根を作製し、押し倒し力を測定した(第2図)。分岐角度が 60~75 度で最大となる結果が得られた。また、実験結果を説明するため、引き抜き実験の際に用いた理論を応用し、倒伏挙動を記述する理論モデルを構築した。実験との比較を行った結果、分岐角度の依存性を含め、定量的にも良い一致を示すことが明らかとなった(第3図)。

これらの結果は、根系の力学特性に関するメカニズム解明に寄与するのみならず、理論モデルを用いた定量的予測が可能であることを示唆している。



第2図 押し倒し試験の様子



第3図 分岐角度と倒伏力

**O-6 異なる土壤環境に生育するスギ個体根系内の深さ別細根特性**柳瀬亮太<sup>\*1)</sup>・谷川東子<sup>2)</sup>・杵山哲矢<sup>1)</sup>・黒見信輔<sup>1)</sup>・金子祥也<sup>1)</sup>・山瀬敬太郎<sup>3)</sup>・藤堂千景<sup>3)</sup>・池野英利<sup>4)</sup>・大橋瑞江<sup>5)</sup>・檀浦正子<sup>6)</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, <sup>3)</sup>兵庫県農林水産技術総合センター森林林業技術センター, <sup>4)</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>5)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>6)</sup>京都大学大学院農学研究科

\*連絡先 (by.39h.2432@s.thers.ac.jp)

樹木の細根は、土壤から養水分をとりこむ役割を担い、森林地下部生態系の炭素循環を評価する上で重要な要素である。また、大気中の二酸化炭素濃度増加によって、根の分布域が深くなることが報告されている。しかし、これまでの森林地下部生態系の調査は労力や技術の限界から、深さ 50 cm 程度までの土壤表層を対象としており、個体根系の深部に生育する細根の形態特性や活性については十分に理解されていない。二酸化炭素濃度の上昇を含めた環境変動による樹木根の分布の変化が、樹木と土壤との間の炭素循環に与える影響について精度高く評価するためには、土壤深部における細根の形態特性や活性について十分に理解することが必要である。本研究では、異なる土壤環境に生育するスギ個体における細根の形態特性・呼吸速度が、土壤深さに伴いどのように変化していくのかを、細根量の分布や土壤特性と合せて解析することを目的とした。

本研究は、粘土質で比較的硬い土壤の広がる名古屋大稲武フィールドスギ林と比較的やわらかい風化花崗岩まさ土の広がる兵庫県神戸市再度山スギ林を対象とした。エアースコップを用いてスギ成木の個体根系を構造が保たれた状態で掘り出し、土壤深度 5 区分(0-10 cm, 10-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm, 150- cm), 方角 4 区分(NE, NW, SW, SE)の計 20 区分において、3 次根程度までの細根系を 1 区分につき 4 つ採取した。細根系は、現地で呼吸速度を測定し、実験室にて回数分類した後、根長や乾燥重量などを測定した。また、区分別に全細根の乾燥重量を測定した。掘り取り後、各方角で土壤断面の層位と硬度を測定した。本発表では、各調査地における区分間での細根の呼吸速度や形態特性を比較し、土壤層位や土壤硬度との関係を調べた結果を報告する。

## 0-7 サイトカイニンは外皮のスベリン化を介した イネの Radial Oxygen Loss バリア形成に関与する

石川愛佳<sup>\*1),2)</sup>・清水香那<sup>1)</sup>・江尻真斗<sup>1)</sup>・緒方是嗣<sup>3)</sup>・山本卓志<sup>3)</sup>・平修<sup>4)</sup>・塩野克宏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>福井県立大学生物資源学部, <sup>2)</sup>東北大学大学院生命科学研究科, <sup>3)</sup>島津製作所,

<sup>4)</sup>福島大学食農学類 (\*ishikawa.aika.t4@dc.tohoku.ac.jp)

湿生植物は根に ROL (Radial Oxygen Loss) バリアを形成して根端まで通気組織を通じた酸素の供給を可能にすることで、湛水土壤中で生育している。イネを含むいくつかの湿生植物は湛水条件 (Stagnant 条件) で誘導的にバリアを形成する。バリアの主成分はスベリンと考えられている。バリア形成に関わる植物ホルモンは不明であったが、最近、イネの ROL バリアの誘導にアブジジン酸 (ABA) が中心的な役割を果たすことが報告された (Shiono *et al.* *New Phytol.*, 2022)。しかし、ABA の他の植物ホルモンがバリア形成に関わるかどうかは分かっていなかった。

Shiono *et al.* (2022) の報告では、サイトカイニン (CK) の外生投与でもスベリン生合成遺伝子の発現上昇が確認されていた。そこで、我々は「CK がイネの ROL バリア誘導に関与する」と仮説を立てた。この仮説を検証するため、(i) CK による ROL バリア誘導性を CK 生合成変異体、CK の外生投与試験により、検証した。さらに、(ii) バリア誘導時に根の外皮周辺組織において CK が蓄積しているかどうかを、最新の質量分析イメージング (MSI) により組織特異的に CK を定量した。最後に (iii) スベリン生合成遺伝子のレポーターアッセイにより、CK による外皮特異的な誘導を調べた。

実験にはイネ (*Oryza sativa*) 日本晴品種とイネ CK 生合成変異体 (*log-6*)、スベリンマーカー遺伝子のプロモーター-GUS 系統 (OsABCG5<sup>pro</sup>::GFP:GUS) を使用した。植物は種子吸水から好気条件で栽培後、そのまま好気条件もしくは Stagnat 条件で水耕栽培した。CK の外生処理として水耕液に CK (*trans*-Zeranol) を 0.1, 1.0 または 10  $\mu$ M 添加し、24 時間栽培を継続した。ROL バリア形成は円筒型電極法とメチレンブルー法により評価した。外皮のスベリン形成は Fluorol Yellow 088 により染色した切片を共焦点レーザー顕微鏡 (LSM900, Carl Zeiss) で評価した。GUS 染色を施した根はスキャナと光学顕微鏡 (Axio Imager.A2, Carl Zeiss) で観察した。根の横断切片上の CK 分布は iMScope TRIO (島津製作所) を用いた MSI により解析した。

野生型が基部側からの酸素漏出がほとんどない ROL バリア (ROL: 1  $\text{nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) を形成した Stagnat 条件で *log-6* の基部側からの酸素漏れが (143  $\text{nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 確認された。この時、*log-6* の外皮におけるスベリン化した外皮細胞の割合は低下していた ( $P < 0.05$ )。好気条件で栽培したイネに対する CK の外生投与は、ROL バリアと外皮スベリン化を誘導した。続いて、ROL バリア形成中の外皮周辺組織における CK の蓄積量を MSI により、半定量的に調べたところ、好気条件から Stagnat 条件に変更して 1 時間後には CK の局所的な増加が確認できた。さらに、好気条件で栽培した OsABCG5<sup>pro</sup>::GFP:GUS 系統で、外生 CK 処理 24 時間後には外皮に強い GUS の蓄積が見られたことから、CK が外皮でのスベリン生合成遺伝子の発現を誘導することが示唆された。以上の結果から、CK がスベリン化を介したイネの ROL バリア誘導に関与することが分かった。

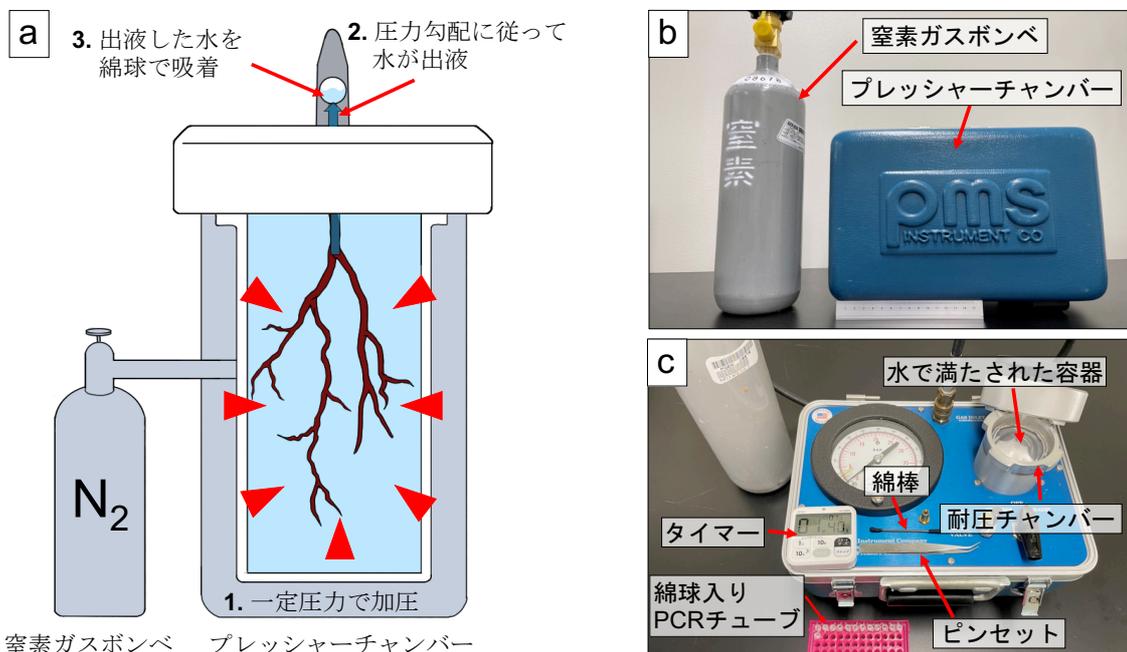
0-8 ルートプレッシャーチャンバー法を用いた樹木細根系の水透過性の測定：  
野外条件下で測るために

増本泰河<sup>\*1)</sup>・矢原ひかり<sup>1)</sup>・且原真木<sup>2)</sup>・牧田直樹<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>信州大学大学院総合医理工学研究科, <sup>2)</sup>岡山大学資源植物科学研究所

\*連絡先 (t.masumoto21@gmail.com)

樹木細根 (直径 2 mm 以下の末端根) の吸水機能を評価することは、樹木の生理活動の正確な理解につながるるとともに、土壌-樹木間の相互作用系の理解を深化させることから、森林生態系における水循環の正確な理解においても重要である。本発表では、野外条件下で樹木細根の水透過性を計測する手法について紹介する。水透過性は、組織における水の流れやすさを示し、根系全体の吸水速度や葉の蒸散速度に影響を与えることが知られている。その測定と評価は作物や樹木実生の根系では進められているが、野外森林の成木における細根での測定は技術的な問題から未だ多くない。紹介する手法では、プレッシャーチャンバーを用いて、根の末端に人工的に一定の圧力を加え、一定時間ごとに根の切断面から出液した水の量を評価することで、水透過性を計測する (第 1 図 a)。本手法では、出液した水を綿球に吸着させ実験室に持ち帰ることで、電子天秤を野外に持ち出さずに出液した水の量の評価が可能である。また、軽量のプレッシャーチャンバーと窒素ガスボンベを用いることで、計測装置を野外に持ち出すことができ (第 1 図 b)、その他の計測に必要な物品を合わせてコンパクトにまとめることができる (第 1 図 c)。本発表をきっかけに多くの方が樹木細根の水透過性に興味を持ち、計測に取り組んでいただけると幸いである。



第 1 図 プレッシャーチャンバー装置の概要。

(a) 綿球とプレッシャーチャンバーを用いた水透過性計測の手順略図。(b) 水透過性計測に用いる軽量のプレッシャーチャンバーと窒素ガスボンベの外観。(c) 水透過性計測に必要な物品の写真。増本ら (2022 根の研究 31: 105-114) を一部改変。

**O-9 Analysis of control mechanisms on promoted lateral root development by rice *our1* mutation focusing on *OsWOX10* regulation**Dong Yihao<sup>1)</sup>·Cornelius M. Wainaina<sup>2,3)</sup>·Yoshiaki Inukai<sup>\*2)</sup><sup>1)</sup> Grad. Sch. Bioagr., Nagoya U., <sup>2)</sup> ICREA, Nagoya U., <sup>3)</sup> Dept. Hort. Food Sec., JKUAT

\*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). Despite the important root traits of *our1* mutant on a stable grain yield under drought-prone environments (Hasegawa et al., J. Agro. Crop Sci., 2022), the molecular mechanisms underlying the promotion of root development are still unknown. Here, we tried to reveal the mechanisms of promoted long and thick lateral root (L-type LR) development by *our1* mutation focusing on the L-type LR inducer, *OsWOX10* gene.

**【Materials and Methods】** qRT-PCR were performed using the total RNA extracted from the seminal root of WT and *our1* mutant seedlings. A yeast one-hybrid assay (Y1H) was utilized to identify the transcriptional function of OUR1/OsbZIP1. To test the binding of OUR1/OsbZIP1 to the upstream sequence of the *OsWOX10* genes, we performed an electrophoresis mobility shift assay (EMSA) with recombinant OUR1/OsbZIP1 proteins and Cy5-labeled DNA probes. A *DR5::NLS-3xVenus* and *pQHB::OsWOX10* constructs were transformed into *our1* mutant and the wild-type via *Agrobacterium*-mediated transformation. After getting these transgenic plants, the Venus fluorescence and lateral root development patterns between them were compared, respectively.

**【Results and Discussion】** *OsWOX10* is significantly and highly expressed in the *our1* mutant. Moreover, the EMSA revealed that *OsWOX10* is a potential target of OUR1/OsbZIP1. It is reported that the seminal root tip cutting effectively promotes the formation of L-type LRs by promoting auxin accumulation (Kawai et al. Front. Plant Sci., 2022). Different from this case of WT, auxin accumulation during L-type LRP development was not observed in the *our1* mutant, indicating that two independent pathways, auxin signaling and release from suppression by OUR1/OsbZIP1, exist and cooperate to control the *OsWOX10* expression for L-type LR formation. In addition, through the phenotypic analysis of *OsWOX10* overexpressed plants in the *our1* mutant background, it can be considered that high expression level of *OsWOX10* can lead to an increase in LR diameter, but it alone cannot offer the branching ability. Subsequently, we would like to propose a regulation model that OUR1/OsbZIP1 represses the expression of an unknown *GeneX*, which positively regulates branching ability of L-type LRs. Through further investigation, I sincerely hope that this key factor, *GeneX*, will be identified and contribute to improve root development for enhancing rice tolerance to drought-prone conditions.

O-10 イネ科作物は低酸素環境にて呼吸維持に必要な根系形成を誘導する

田丸 翔太郎<sup>1)</sup>・勝濱 直椰<sup>2)</sup>・後藤 啓太<sup>1)</sup>・藪田 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

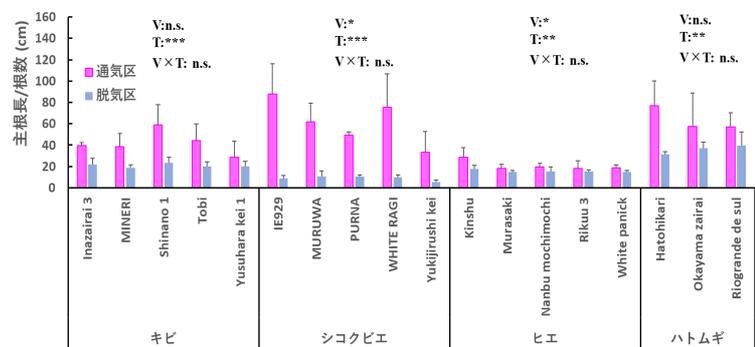
\*連絡先(k5697087@kadai.jp), 連絡先 (sakagami@agri.kagoshima-u.ac.jp)

【背景および目的】これまで,Kono ら(Japan Journal of Crop Science,1988)や Matsuura ら(Plant Production Science, 2021)の報告により,我々はイネ科作物の低酸素応答の多様性に着目し,キビ(*Panicum miliaceum*),シコクビエ(*Eleusine coracana*),ヒエ(*Echinochloa utilis*),ハトムギ(*Coix lacryma-jobi*) の低酸素応答について研究してきた.前報ではキビとシコクビエの根の低酸素応答について比較し,根が低酸素に曝されたシコクビエで同条件のキビよりも根の1本あたりの長さが短くなることを報告した.また,日本作物学会第 255 回講演会にて,上記の4種の地上部に低酸素環境が与える影響について報告した.低酸素下では根の長さは根内部のガス拡散と根端の酸素濃度に負の影響を与える(Armstrong et al., New Phytologist 1982, 1983).そのため,本報告では低酸素応答性の異なる種・品種群で,根の低酸素応答がどのように変異しているかを明らかにする目的で解析を進め,特にキビやシコクビエでみとめられたような,低酸素下で根が短くなる応答がヒエとハトムギにもみとめられたかどうかについて検討した.

【材料および方法】キビ,シコクビエ,ヒエ,ハトムギの葉齢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,これらの区で16日間の処理を継続した.サンプリングした根は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. WinRHIZO による根の直径の分類に基づき,キビ 側根<0.5mm, シコクビエ 側根<0.6mm, ヒエ 側根<0.6mm, ハトムギ 側根<0.9mmとして主根と側根を分類して根長と根表面積を計測した.

【結果および考察】 総根長はキビおよびシコクビエでは脱気区で有意に減少した.根数はキビを除く3種では脱気区で有意に増加した.主根長/根数はどの種においても脱気区で有意に減少した(第一図).側根長/主根長はキビでは脱気区で有意に減少した一方でヒエおよびハトムギでは有意に増加した.つまり,ヒエやハトムギのような耐湿性の高い種であっても,低酸素

環境では主根一本あたりの長さは短くなるが,その一方でこれらの種では総根長は減少しない.これは根数や,側根長/主根長の有意な増加により補償されているものと考えられ,根圏の酸素が限られている状況で,茎から根端までの酸素の輸送距離を短縮し,根の呼吸を維持するために有利な応答なのではないかと推察している.



第一図 それぞれの種の主根長/根数

V,T,V×Tはそれぞれ品種間差,処理間差,交互作用の有意性を示す.

## O-11 Soil texture influenced the effect of P-dipping on NERICA 4 rice root morphology in early growth stages

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

<sup>1)</sup>The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Japan; <sup>2)</sup>National Agricultural Research Organisation, 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

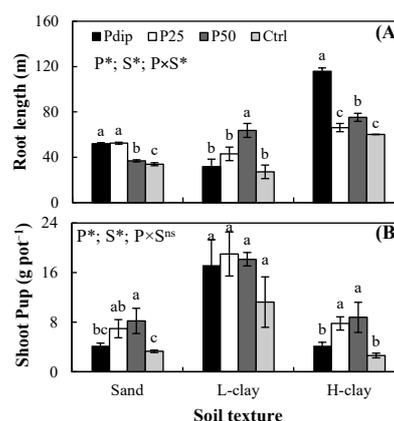
Phosphorus (P) deficiency is a major abiotic factor limiting rice yields in the highly weathered and inherently low-nutrient soils of Sub-Saharan Africa. Studies have shown that P-dipping improves P-use efficiency (Oo et al., 2021), boosts root growth (He et al., 2003), enables rice to withstand salt stress (Sarangi et al., 2015), and improves rice seedling resilience to water and nutrient stresses (Odama et al., 2023). On the other hand, soil texture is known to have significant effects on P availability and use efficiency in rice (Alhaj Hamoud et al., 2019; Dou et al., 2016). In this study, we evaluated the combined effect of P-dipping and soil texture on rice root morphology, with a focus on its effect on shoot P uptake (Shoot Pup).

### Materials and Methods

The experiment was conducted in a greenhouse using 11-cm high perforated plastic pots having 9.5-cm and 12.5-cm bottom and top diameters, respectively. Three soil textures, i.e., sand (pH 8.8; Av. P, 24.5 mg kg<sup>-1</sup>), light clay (pH, 4.9; Av. P, 186.5 mg kg<sup>-1</sup>; clay, 43.4%), and heavy clay (pH, 5.8; Av. P, 18.3 mg kg<sup>-1</sup>; clay, 79.7%) were used. Pots were filled with 1.5 kg of experimental soil (1:1 w/w; bulk density: 1.2 g cm<sup>-3</sup>), placed in plastic containers (48 × 32 × 8 cm) lined with black plastic sheets, and water maintained at 3-4 cm in the containers throughout the experiment. To correct any deficiencies in N and K, the experimental soil, 0.43 g of (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 0.12 g of KCl were added in each pot, respectively. NERICA 4 rice variety was grown in seedling trays until the 3-4 leaf stage. Prior to transplanting, roots of some of the seedlings were dipped into P-enriched slurry for 30 min. The P-enriched slurry was produced by mixing 45 g of air-dried soil, 14 mL of water and 1.31 g (Pdip) of SSP fertilizer, an estimate for 40 kg P ha<sup>-1</sup> (Odama et al., 2023). The rest of the seedlings were transplanted without P-dipping, in pots applied with 0.3 g and 0.5 g of SSP fertilizers as estimates for 25 kg P ha<sup>-1</sup> (P25) and 50 kg P ha<sup>-1</sup> (P50), respectively. A control (Ctrl) without any P application but N and K fertilizers was set up; all treatments had three replicates. Root samples were collected at 25 DAP, scanned, and images analyzed using *WinRhizo* software. Data analyzed in SPSS Statistics at 5%  $\alpha$  level.

### Results and Discussion

A significant difference in the total root length (RL) existed between the heavy clay (79.5 m), and the sand (43.8 m) and light clay (41.5 m) soil textures. There was also a significant difference in RL between P treatments, with the mean RL under Pdip (66.6 m) treatment showing the highest value compared to P50 (58.6 m), P25 (53.9 m) and Ctrl (40.4 m) (Fig. 1A). The mean root surface area (RSA) differed significantly between heavy clay (869.5 cm<sup>2</sup>), light clay (602.3 cm<sup>2</sup>), and sand (557.9 cm<sup>2</sup>) textures; and between the P treatments, with the mean RSA under the Pdip treatment showing a 17.8% and 41.7% increase relative to the combined applied P treatments (P25 and P50) and Control, respectively. In a striking contrast, whereas the mean RL under the heavy clay was significantly higher than that under light clay texture (Fig. 1A), the mean shoot Pup under light clay (16.4 g pot<sup>-1</sup>) was significantly higher than that under heavy clay (5.9 g pot<sup>-1</sup>) and sand (5.7 g pot<sup>-1</sup>) textures (Fig. 1B); and this was further supported by the strong positive correlation between shoot Pup and RL under light clay soil ( $r = 0.58^*$ ) than the weak correlation under heavy clay soil ( $r = -0.12^*$ ). The combination of higher root biomass with low plant tissue P concentration in the low-



**Fig. 1.** NERICA 4 root length (A) and shoot P uptake (B) under sand, light clay (L-clay), and heavy clay (H-clay) soil textures. \*,  $p < 0.05$ ; ns, not significant. Error bars show Standard Deviation.



P heavy clay soils can be explained by the Piper-Steenbjerg effect (Wikstrom, 1994). In conclusion, the findings of our study suggest that soil texture influences the effect of P-dipping on NERICA 4 rice root morphology in early growth stages.

## O-12 厳しい乾燥ストレス下でのイネ安定生産を目指す新しい試み

犬飼義明<sup>\*1)</sup>・金生真綾<sup>2)</sup><sup>1)</sup>名古屋大学農学国際教育研究センター, <sup>2)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科

\*連絡先 (inukaiy@agr.nagoya-u.ac.jp)

## 【背景と目的】

これまで、側根の発達程度を高めることで、マイルドな乾燥ストレス下においてある程度イネの安定生産が可能であることが確認され、我々は現在、この方向性での更なる遺伝的改良を進めている。一方、より厳しい乾燥ストレス下においては、そもそも吸える水自体がほとんど無いなかでいくら根の張り方を改善しても安定生産に結び着けるのは非常に困難である。そのため、このような環境下において根系に注目してどのような改善策を講じることができるのかについて良いアイデアが浮かばず、私の中では完全に放置状態であった。しかし、残りの研究者人生が限られてきた現状の中、今からこの課題に積極的に取り組まなければ間に合わないという思いから、現在は試行錯誤を繰り返している。今回はこの取り組みの一端を紹介させて頂き、皆様からの率直なご意見を承りたい。

## 【材料と方法】

茎から発生する不定根である冠根数が著しく少ない *crl1* 変異体 (Inukai et al., Breed. Sci., 2001) と、その原品種である台中 65 号を供試した。一株の苗数を 5 本とし、「① 5 本とも全て原品種, ② 原品種 4 本・変異体 1 本, ③ 原品種 3 本・変異体 2 本, ④ 原品種 2 本・変異体 3 本, ⑤ 原品種 1 本・変異体 4 本, ⑥ 5 本とも全て変異体」の 6 つの異なる株を準備し、砂を充填したトール型 1/5000a ワグネルポットに一株ずつ移植した。ガラス室にて育成した 16 日齢の苗を 2023 年 3 月 29 日に各ポットへ移植し、湛水条件下にて育成した。約 1 ヶ月後の 4 月 28 日に半数のポットを落水し、6 日後に再灌水して湛水条件下にて栽培した。残りの半数は常時湛水条件下にて栽培した。この間、草丈、茎数、吸水量を測定し、実験は 3 反復で行った。

## 【結果と考察】

常時湛水条件下にて栽培した際の吸水量は、5 本とも全て原品種である①は 5 本とも全て変異体である⑥に比べて 3 倍程度高かった。また、両者を異なる割合で混合した②から⑤の吸水量は①と⑥の間に位置し、変異体の数が増えるにつれて減少していた。そのため、*crl1* 変異体はその冠根数の少なさにより吸水能力が著しく低下していることが確認された。一方、ポットへの移植 3 週間後の草丈と茎数は、①で 40.3cm と 23.2 本、⑥で 35.1cm と 21.5 本であり、いずれの形質も変異体で低かった。また、変異体は原品種に比べて葉の緑色が薄く、その後の生育につれてこれらの差は広がる傾向があり、変異体では養分吸収能も劣っているものと考えられる。一方、落水後は 5 本とも全て原品種である①から順に急速に葉が萎れはじめ、特に①から③ではほぼ全ての葉が枯れ上がっていたが、④や⑤ではある程度の葉は健全なままであり、さらに 5 本とも全て変異体である⑥では葉の萎れは全く観察されず、全ての葉が健全なままであった。このような結果の中には、厳しい乾燥ストレス下において生産性を維持する上で、「イネに限られた水資源をいつ、どのように利用させればいいのか?」についての手がかりが隠されているのではないかと期待している。今後は乾燥ストレスの繰り返しや生じる時期について、さらには圃場条件下も視野に入れて栽培試験を継続していきたい。

# Root 根の研究 Research

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 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:neken2023@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

根の研究 第32巻 別冊1号 2023年6月28日印刷 2023年6月29日発行  
発行人：塩津文隆 〒〒214-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1  
明治大学農学部 第一校舎2号館および6号館  
編集・印刷：第57回根研究集会実行委員会(委員長 塩津文隆)



# **Root Research**

**Japanese Society for Root Research**