

Root

Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182
Vol.30, No.2
June 2021

目 次

【巻 頭 言】

会員の皆様へ 27

【原著論文】

いや地汚染土壌の添加がイチジク‘榊井ドーフィン’苗の根箱での生育に及ぼす影響

細見彰洋 29

【技術ノート】

新鮮水稻根重の測定—野菜水切り器を用いた簡易脱水法提案—

亀岡笑・吉野ひなき・鈴木弘隆・近江祐樹 33

【教 育】

植物組織の空隙率測定方法—2. アルキメデス法—

宮下智貴・江尻真斗・島村聡・山内卓樹・塩野克宏 41

【情 報】

菜根譚 野菜の根の話 12. 臭わない根

中野明正 46

【会 告】

2021 年度 根研究学会総会報告 47

根の研究
根研究学会(JSRR)

会員の皆様へ



告 示

○2021年度根研究学会賞の候補募集（2021年7月30日まで）

根研究学会会則第3条ならびに根研究学会学術賞規定に基づき、2021年度の研究会賞の推薦を受け付けます。優れた業績が多数推薦されますよう、皆様のご協力をお願いします。自薦・他薦を問いませんし、推薦者は会員でなくても結構です。送り先は根研究学会事務局、締切は2021年7月30日です。詳細は、本学会HPに掲載の根研究学会賞に関する規定をご確認ください。

○2022年度－2023年度会長選挙告示（立候補・推薦の締め切りは2021年7月30日）

会則第8条・10条・11条に基づき、来期の会長選挙を行います。会長候補として立候補または推薦を受ける資格があるのは、2021年7月30日時点におけるすべての個人会員です。会長に立候補する会員は、立候補届を事務局までお送りください。立候補の受付期間は2021年7月1日－7月30日（必着）とします。

事務局からのお知らせ

1. 第53回根研究集会の開催と優秀発表賞受賞報告

6月5～6日に第53回根研究集会が開催されました。コロナウイルス感染症の終息の見通しが立たないため、ネット会議システムを利用したオンライン形式での開催になりました。牧田実行委員長ならびに学生を含む信州大学の皆様のおかげをもちまして活発に開催することができました。ありがとうございました。また、「～学生の悩む「研究者への道」：研究者キャリアパスの現状・未来について考える～」と題して若手研究者の企画による交流会も開催されました。詳しくは次号に掲載の報告をご覧ください。また、優秀発表賞は伊藤拓生氏が受賞しました。

2. 総会において予算・事業計画が承認されました

6月6日に第53回根研究集会内で総会を行い、本年度の予算、事業計画が承認されました。詳しくは今号に掲載の報告をご覧ください。

3. 2021年の根研究集会

・第54回根研究集会

三重県津市で秋に開催する予定で、関谷信人会員に企画をお願いしています。新型コロナウイルス感染症の終息の見通しが立たない場合には、WEBを利用したオンライン形式での開催になります。

・2022年度の集会 開催地については募集中です。

4. 電子版会誌のダウンロードについて

2021年度から根研究学会ホームページおよびJ-Stageから電子版会誌をダウンロードするためのパスワードを変更したのでご注意ください。ユーザー名の変更はありません。

根研究学会電子版会誌の URL <http://www.jsrr.jp/rspnsv/download.html>

J-Stage の URL <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/rootres/-char/ja>

5. 学生会員の参加費は無料です

2017年から学生会員の参加費は無料になりました。これまで根研究集会の参加費は一般会員、学生会員、非会員を問わず同額でした。非会員の参加費は、一般・学生に関係なく、一般会員より1,000円程度高くなります。学生会員は集会受付で学生証の提示をお願いいたします。この機会にぜひ根研究学会学生会員にご加入いただけますよう、関係学生の皆さんにご周知いただけますようお願いいたします。

次ページに続く

6. 投稿のお願い

会誌「根の研究」では、原著論文のほかに、ご自身の一連の研究を他分野の会員にも分かりやすく解説したミニレビューを重視しています。学術功労賞・学術奨励賞の要件である、本会における研究成果の報告は、ミニレビューによる解説も認められていますので、積極的にご寄稿下さい。また、研究手法や学生向けの実験・実習法の解説なども歓迎します。

7. 根研ロゴの使用について

これまで「根研」のロゴを入れたTシャツなどのグッズを事務局が製作し、研究集会で販売してその収益を特別会計の収入としていました。しかし、売れ残りが生じると特別会計の赤字になってしまうためグッズを積極的に製作することは困難でした。そこで、会員の皆様が使用料を支払うことで根研ロゴを使用したグッズを自由に製作することができるようにしました。使用料は1製品につき300円です。詳しくは事務局までお問い合わせください。

8. 名簿データ更新のお願い（異動のないかたもご協力下さい）

住所・所属・研究テーマ等に変更のある方は本号に掲載の案内、または根研究学会ホームページ (<http://www.jsrr.jp/>) の「諸手続—名簿データ更新」のコーナーをご参照頂き、データをお送り下さい。また、各種調査に備えて今後会員の性別と学生・社会人の別を集計することにしました。特に変更のない方も名簿データの更新にご協力ください。これら追加データは、主に会員構成（男女比など）を把握するために使わせて頂きます。なお、次回の名簿発行は2021年6月の予定です。

9. 会費納入のお願い

2021年度の会費をまだお支払い頂いていない方は、下記の郵便振替口座に納入をお願いします。請求書等の伝票をご希望の方は、事務局までお知らせ下さい。

年会費（2021年）： 電子版個人3,000円、冊子版（+電子版）個人4,000円、冊子版団体9,000円
（年度は1月—12月です）

郵便振替口座 口座名義（加入者名）：根研究学会、 口座番号：00100-4-655313

[他の銀行から振込の場合：ゆうちょ銀行 ○一九店（ゼロイチキユウテン） 「当座」0655313]

根研究学会所在地・連絡先： 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

(株) 共立内 根研究学会事務局 TEL：03-3551-9891/FAX：03-3553-2047

- メールアドレス 事務局：neken2021@jsrr.jp 『根の研究』編集委員長：editor2021@jsrr.jp
Plant Root 編集委員長：editor2021@plantroot.org
- Web サイト 根研究学会：<http://www.jsrr.jp/> 『根の研究』オンライン版：<http://root.jsrr.jp/>
Plant Root：<http://www.plantroot.org/>

いや地汚染土壌の添加がイチジク‘柵井ドーフィン’苗の根箱での生育に及ぼす影響

細見彰洋*

(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所

要 旨：イチジク‘柵井ドーフィン’の挿し木個体を約 350 mL の砂礫を用土とする根箱で栽培した。この用土上面に健全土壌といや地汚染土壌 30 mL を接種し、根箱の透明な平面を通して観察された根の伸長を接種後 30 日目までトレースし、積算根長を求めた。また、定期的にルートボックスを開いて平均的な根群をサンプリングし、呼吸速度を測定した。その結果、汚染土壌の接種は一次根の伸長には明らかな影響を及ぼさなかったが、新梢伸長と二次根の伸長を接種直後から抑制した。また、根に褐変など外観の変化は観察されなかったものの、異常呼吸と推定される呼吸速度の上昇が認められた。

キーワード：イチジク、いや地、呼吸速度、挿し木、根箱。

Effect of sick soil inoculation on ‘Masui Dauphine’ fig cutting grown in root box : Akihiro Hosomi* (Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefecture)

Abstract : Fig cuttings of ‘Masui Dauphine’ (*Ficus carica* L.) were grown in root boxes with ca. 350 mL of sterilized coarse sand. Thirty mL of sick soil and healthy soil were inoculated over the soil surface of the root boxes. The growth of observable roots was traced daily, through the transparent plates, and summed to give the root lengths until 30 days after inoculation. Occasionally, the representative roots of cuttings were sampled and its respiration rates were measured with an oxygen electrode unit. The sick soil inoculation did not affect the primary root elongation. However, the shoot growth and secondary root elongation were inhibited immediately after the sick soil inoculation. Enhanced respiration, likely a wound respiration, was observed in the rootlet of sick soil inoculated cuttings without obvious visual disorder.

Keywords : Cutting, Fig, Respiration rate, Root box, Soil sickness.

緒言

イチジク (*Ficus carica* L.) は「いや地」現象が生じやすい果樹として知られ(平井・平野, 1949), 発症した樹は長年にわたって生育が衰え、果実生産が低下する。いや地の原因については、生育阻害物質(平井・平野, 1949; 初田ら, 1960), ネコブセンチュウ(Condit, 1947), 土壌病原微生物(細見・内山, 1998)など諸説あって、今のところ確定されていないが、当然ながら何らかの異常が地下部に生じていると予想される。しかし、地下部の観察は手法的に困難を伴い、実際にいや地条件下において根の生長がどのように抑制を受け、地上部の生育と相関を持っているのかを実験的に確かめた報告は少ない(Hosomi et al., 2002)。

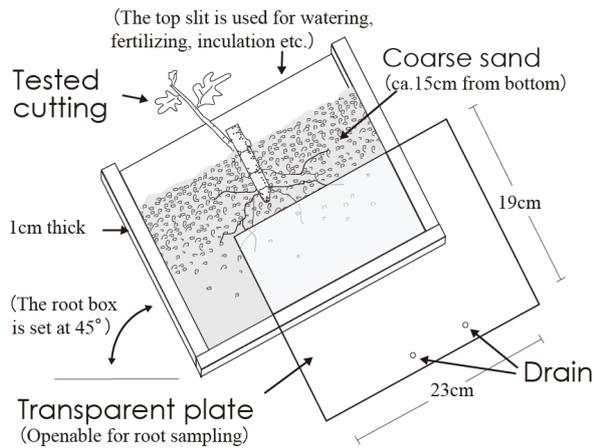
そこで本実験では、いや地発症時の根の形態的、生理的变化を知るため、小型の根箱でイチジク苗を栽培し、根や新梢の伸長と呼吸速度の変化について調査した。

材料と方法

実験は Hosomi et al. (2012) がイチジク株枯病菌 (*Ceratocystis ficicola*) の接種試験として示している手法で行った。すなわち、用いた根箱は、第 1 図に示す透明アクリル製で、内寸が縦 19 cm, 横 23 cm, 厚さ 1 cm の平らな容器であり、上辺が開放で、前面の平板は固定金具を外すことで蓋として自在に取り外しできる。また、平板の一辺には直径 4 mm の穴が 2 箇所あり、排水孔として機能する。供試個体を準備するため、イチジク‘柵井ドーフィン’の直径が 10 mm 以下の前年枝を、2003 年 2 月に 3 節(長さ約 22 cm)に調製して水挿しした。発根した苗は、深さ約 15 cm まで詰めた黒色の砂礫(砂礫粒の直径は 2~6 mm)を用土として、この容器に 1 個体ずつ 20 個体移植した。容器は 12 時間日長で昼 25℃, 夜 20℃, 湿度 85% の人工気象室に斜め 45 度に立てて置いた。開口している根箱上辺から用土の乾燥程度に合わせて 1 日 1~2 回の給水(1 回あたり約 50 mL)を行った。萌芽した新梢は芽かき

2020 年 11 月 20 日受付 2020 年 12 月 27 日受理

*連絡先(現所属)公益財団法人東洋食品研究所 〒666-0026 兵庫県川西市南花屋敷 4 丁目 23 番 2 号 E-mail: vividlyoceanly@gmail.com
本稿は、大阪府立大学大学院生命環境科学研究科提出の博士論文(未公表)の一部に、加筆修正を行った。



第1図 Figure of the root box (Hosomi et al., 2012), and the state of root growth of a 'Masui Dauphine' fig cutting.

によって各樹1本を伸長させ毎日全長を測定した。また、平板の両面に半透明シートを置き、キルビメーターを用いて根を毎日トレースし、その日の伸長量を測定した。この際、根の種類を便宜上2種類に分けて記録した。すなわち、比較的基部(挿し穂もしくはその付近)から直線的に伸びる、太くて白い根を一次根、この一次根から分岐していく細い根を二次根とした。なお、根長は根箱の表面から確認できる根の長さをもって代表させ、用土内部に伸長して測定できない根は割愛した。

挿し木苗の初期生育には個体差が大きいいため、一次根と二次根を合わせた長さ(以下、総根長)が一定値に達した個体から順に以下の処理と調査を行った。すなわち、総根長2mに達した日の、いずれも午後2時~5時の間に透明板を外し、根系全体のうち、根の太さや分岐の程度、根色等が平均的な状態の根群を40mg程度サンプリングして水洗いし、表面の水を紙で吸い取ったのち30mgを秤量して試料とした。試料は、達観で分岐の多少(少:1~多:5)を記録したのち、メスで長さ2mm程度に細かく刻んで呼吸速度を測定した。測定には酸素電極装置(DW-1, HANZATECH社)

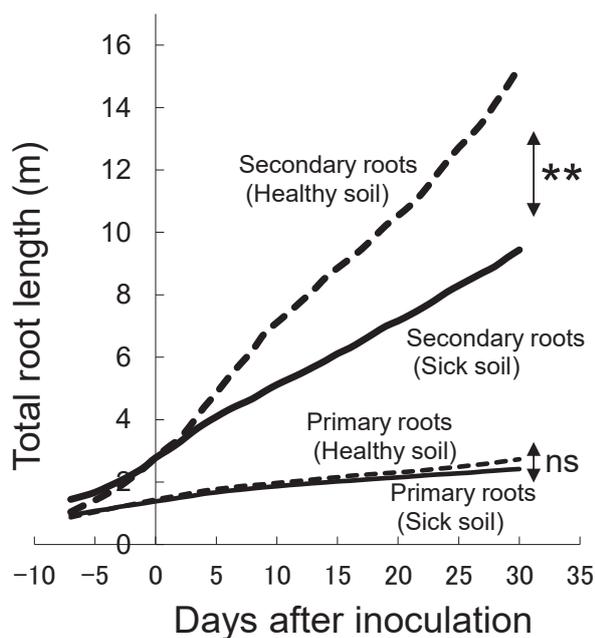
を用い、反応容器には1.5mLの蒸留水を入れて25℃に保ち、試料投入後2分から4分までの溶存酸素の減少量から呼吸速度(試料の単位重量における単位時間あたりの酸素消費量)を求めた。次に、総根長が3mに達した日に肥効調節型肥料(有効期間100日N:P₂O₅:K₂O=10:18:15微量要素を含む)を5gずつ施した。さらに、総根長4mに達した日にも同様の施肥を行い、この日を基準日と定め、20個体のうち10個体にはいや地汚染土壌(以下、汚染土)を、残る10個体には健全土壌(以下、健全土)を、それぞれ600μm目の篩を通した後、各個体の用土上部に30mLずつ均一に広げて接種した。なお、両土壌を採取したのは大阪府立環境農林水産総合研究所内の2圃場で、前者はイチジクの典型的ないや地現象(枯死しないものの極端な衰弱が続く)を認めた圃場、後者は過去の調査で、前者と類似の土壌化学性を有しながらも、いや地現象を認めなかった圃場である(細見・内山1998)。そして、基準日から30日までは前述の根と新梢の伸長量の測定を継続するとともに、肉眼や拡大鏡を用いて根の外観(褐変、枯損の有無、根粒など)を適宜観察した。また、基準日から3, 8, 13, 18, 23, 28, 38日後に、前述の方法で根をサンプリングして呼吸速度を求めた。以上の測定項目の平均値について、t検定により区間の有意差を求めた。

結果と考察

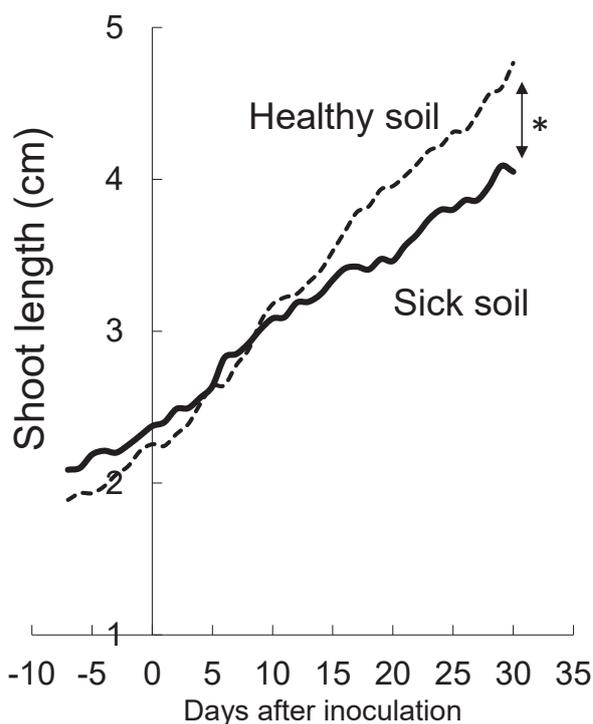
各区の供試苗の基準日を0日とし、その7日前から30日後の根長および新梢長を示したのが第2図と第3図である。測定期間中、根はほぼ一定に伸長し、健全土区の場合、基準日から30日後には、一次根は平均2.7m、二次根は平均15.3mに達した。汚染土区の根も一定に伸長したが、一次根は平均2.4m、二次根は平均9.4mにとどまり、健全土区に比べて一次根では有意差がなかったものの、二次根の差は顕著で有意差があった。この伸長抑制は土壌接種の約5日後から明らかとなり、少なくとも供試した様な発根直後の幼苗では、汚染土の影響は接種後すぐに発現するものと考えられた(第2図)。

また、新梢長も、健全土区が平均4.8cmに達したのに対して、汚染土区は平均4.1cmに留まり、有意差があった(第3図)。汚染土の接種による根の生育鈍化に伴って新梢生育が抑制されたと考えられる。

根の外観は調査した範囲において、汚染土接種による影響は認められず、期間中、根粒などの発生もなかった。また、定期的にサンプリングした根は生長に伴って分岐が増えたが、分岐の程度に有意な区間差はなかった(データ省略)。しかしながら、サンプリングした根の呼吸速度は汚染土を接種した後に増大する傾向

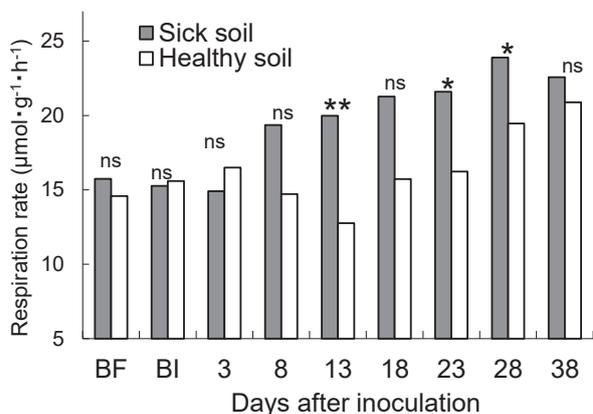


第2図 Root elongation of 'Masui Dauphine' fig cutting, grown in root boxes with 30 mL of sick soil and healthy soil inoculation (n = 10). The primary roots are elongated directly from the cutting, and the secondary roots are elongated from the primary roots. Significances of last values between both inoculation are shown for each root dimension (**, P < 0.01; ns, non-significant by t-test).



第3図 Shoot elongation of 'Masui Dauphine' fig cutting, grown in root boxes with 30 mL of sick soil and healthy soil inoculation (n = 10). One shoot was elongated per cutting; the other shoots were disbudded. Significances of last values between both inoculation was shown * (P < 0.05 by t-test).

が認められた(第4図)。一般に、新たな植物体を作るために必要な呼吸は生長呼吸と定義され、それが盛んなほど植物体の生長速度も早く、旺盛な葉面展開による同化量の増加によって、さらなる拡大生産に結びつく(山岸, 1994)。実際、イチジク‘樹井ドーフィン’の場合にも、根の伸長が旺盛な時期に呼吸速度も増加することが明らかにされている(平田, 1985)。しかし、呼吸速度が植物の生長に反映されない場合には、むしろ呼吸効率の低さの結果と解釈される。新梢生育が抑制された本実験の場合も後者を考えるべきであり、汚染土の接種によって生長に結びつかない何らかの異常な呼吸が増大していたと推察される。材料と方法に述べたとおり、両接種土壌は過去に土壌化学性に明確な差がなかった圃場から採取しており、その接種量も用土の10分の1に満たなかったことから、接種土壌の理化学性が根の呼吸速度の差に影響したとは考えにくい。一方、こういった根の異常呼吸は、病原菌の感染によって生ずる事が知られており(Allen, 1953)、イチジクの場合も、イチジク株枯病菌の感染で異常呼吸が生じるとされる(Hosomi et al., 2012)。本実験のいや地土壌接種についても、根に対して何らかの微生物感染をもたらした可能性が高く、この結果はイチジクのいや地現象に、何らかの土壌病原微生物が関与するとする説(細見・内山, 1998)を支持するものと言えよう。



第4図 Root respiration rates of 'Masui Dauphine' fig cutting, grown in root boxes with 30 mL of sick soil and healthy soil inoculation (n = 10). Data are the mean of respiration rates just before fertilization (BF), just before inoculation (BI), and 3, 8, 13, 18, 23, 28 and 38 days after inoculation. Significances between both inoculation are shown at each day (**, P < 0.01; *, P < 0.05; ns, non-significant by t-test).

今後、いかなる微生物が関与しているかについて、説明が待たれるところである。

謝辞

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター緒方達志氏には根の呼吸速度測定についてご教示頂いた。また、内本和子氏には根長の測定にご協力頂いた。ここに感謝の意を表する。

引用文献

- Allen, P. J. 1953. Toxins and tissue respiration. *Phytopathology* 43: 221-229.
- Condit, I. J. 1947. The fig. Insect and other pests. *Chronica Botanica Co. Mass.* pp. 177-187.
- 初田勇一, 村尾沢夫, 寺島典二, 横田寿雄 1960. 植物の忌地性に関する生化学的研究 (第 1 報) イチジク根皮部中の生育阻害物質. *農化*. 34: 484-486.
- 平井重三, 平野暁 1949. イチジクの忌地に関する研究第 1 報 忌地現象の確認. *京都大学園芸学研究集録*. 4: 96-102.
- 平田尚美 1985. 根の形態と生理. *農文協編. 果樹全書・ウメ・イチジク・ビワ*. 農文協. 東京. pp. 270-273.
- Hosomi, A., Dan, M., Kato, A. 2002. Screening of fig varieties for rootstocks resistant to soil sickness. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 71: 171-176.
- Hosomi, A., Miwa, Y., Furukawa, M., Kawaradani, M. 2012. Growth of fig varieties resistant to ceratocystis canker following infection with *Ceratocystis fimbriata*. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 81: 159-165.
- 細見彰洋, 内山知二 1998. イチジクいや地圃場における生育阻害要因. *園学雑*. 67: 44-50.
- 山岸順子 1994. 作物の生長と呼吸. 石井龍一編. *植物生産生理学*. 朝倉書店. 東京. pp. 35-53.

新鮮水稻根重の測定—野菜水切り器を用いた簡易脱水法提案—

亀岡笑*・吉野ひなき・鈴木弘隆・近江祐樹

酪農学園大学

要 旨：ポット栽培試験は植物の水分吸収評価に有効な試験系であり、重量法によって植物の水分吸収量が評価される。重量法に基づく植物体の正確な水分吸収量の評価には、全体重量に占める茎葉部ならびに根系新鮮重の評価が不可欠である。茎葉部の新鮮重は、地際で刈り取りをしてそのまま容易に測定することができるが、根系は根を土から洗い出した後の根系表面の水分を十分に取り去る工程が、生育段階が進む中で根系形態が複雑化した場合に特に難しく、これまでに根系新鮮重の測定方法に関する知見はほとんどない。本研究は、機器を低価格で用意でき、測定結果に誤差が生じにくく、比較的身体的負担が少ない水稻根系の新鮮重測定法を提案した。検証結果から提案法について、1) 測定機器とする野菜水切り器を低価格で用意でき、2) 回転速度を1回転/秒と定めることが容易であることから測定結果に誤差が生じにくく、3) 測定にかかる身体的負担が少ないことが分かった。さらに、実際の栽培試験に同提案法を採用した場合に、考案時には想定できなかった問題点が生じないか、測定人数を増やしたときに効率性が上がるか、を検証し、異なる灌水タイミングでポット栽培した水稻根系の新鮮重評価に同提案法を採用し、測定法の有効性ならびに新鮮水稻根重測定の意義について評価した。

キーワード：イネ、根系、新鮮根重。

Root fresh weight measurement for rice root system—A proposal for a simple dewatering method of fresh paddy roots using a vegetable drainer : Emi KAMEOKA*, Hinaki YOSHINO, Hirotaka SUZUKI and Yuki OHMI (Rakuno Gakuen University)

Abstract : The pot experiment is effective for the evaluation of water uptake of plants and the gravimetric method is used to assess the water uptake of plants. For an accurate gravimetric assessment of the water uptake of plants, it is essential to evaluate the fresh weight of the stems, leaves and root system as a percentage of the total weight. The fresh weight of stems and leaves can be easily measured after cutting at the ground level, but the fresh weight of the root system is difficult to measure, especially when the growth of the plant has become more complex, because the process of removing water from the surface of the root system after washing the roots out of the soil is difficult. In this study, we proposed a method for measuring the fresh rice root weight that can be provided at a low cost and is relatively easy to use, with little measurement error and relatively little physical burden. It was found that 1) a vegetable drainer as a measuring device could be prepared at a low price, 2) it was easy to determine the rotation speed, 1 rotation / sec, so that measurement error were unlikely to occur and 3) the physical burden of measurement was low. Furthermore, the effectiveness of the proposed method and the significance of fresh rice root weight measurement were both evaluated by using this method in the pot experiments with different irrigation timing.

Keywords : Fresh root weight, Rice, Root System.

緒言

植物の水吸収は植物自身の生存に直接関わり、特に環境ストレス条件下において平常時に比べて顕著に変化することが報告されている。植物の水吸収を評価する際に、圃場栽培試験に比べてワグネルポットを用いた栽培試験では、ポットの重量を測りとりただけで個々の植物の一定時間当たりの水吸収量を求められる。この理由から、植物の水吸収を評価するにあたってワグネルポットを用いた栽培試験は、植物種を問わず過去

に多く実施されている(河野ら, 1987; 河野ら, 1988; Pardales et al., 2000; Siopongco et al., 2008; Tran et al., 2015; Zheng et al., 2016; Nguyen et al., 2018)。ワグネルポットに栽培された植物の重さをポットごと重量計に乗せて測り取った際に、その重さは1) 空の状態のポットの重さ、2) 風乾土の重さ、3) 土壌中の水の重さ、4) 植物体の重さ、で構成される。1) ~ 4) の中で、植物の水吸収を評価する際にポット全体の重さから求めたいのは3) 土壌中の水の重さであり、これを求めるにはポット全体の重さから1), 2), 4) の合計を差し

2021年1月11日受付 2021年3月15日受理

*連絡先 〒069-8501 北海道江別市文京台緑町582 酪農学園大学栽培学研究室 E-mail: kameoka@rakuno.ac.jp

引く必要がある。1), 2) は実験準備の際にあらかじめ規定量を決めているため簡単に差し引くことができるが、問題は4) 植物体の重さである。植物体の重さは茎葉新鮮重と新鮮根重とで構成されるため、この2つの値を求めなければいけない。

茎葉新鮮重は地際で刈り取ってそのまま容易に測定することができるため、乾物重ほどではないものの、多くの論文で異なる水分条件におけるその変化についても報告されている (Pardales et al., 2000; Siopongco et al., 2008)。その一方で、新鮮根重に関する測定法の報告例は幼植物体に限定される (Zhang et al., 2006; Zheng et al., 2016; Pang et al., 2020)。幼植物体の比較的小さな根系に対しては、根系に付着した水分を紙タオル等に丁寧に吸収させる、といった方法での脱水が可能である。しかし、生育後半に根が立体的かつ大型化すると、このような方法では根系に含まれた多量の水分を均一に除去することは極めて難しい。特にイネは、ムギ、ダイズ、バレイショといったその他の主要作物の中でも分けつを多く発生させ、生育後半の根系が形態・組織学的に異なる根系要素から複雑かつ立体的に生長する。根系表面の水分を十分に取り去る工程が、生育段階が進む中で根系形態が複雑化した場合に特に難しくなるため、生育後半のイネ根系について、新鮮重の測定を試みた例はほとんどない。このように複雑かつ立体的に生長した生育後半のイネ根系の新鮮重を測定できる手法を提案できれば、同手法はイネに限らず他の主要作物の新鮮根重測定にも応用できる。さらに、そうして求めた新鮮根重を用いて、ポット試験において土壤中に含まれる水分も正確に求めることができる。

生育後半のイネ根系に対して新鮮重の測定を試みる際、幼植物根に対してするような根系の表面の水分を紙タオルで吸着させるような方法では根系内部の水分を吸収することができない。かといって、人の手でしぼるような吸水方法をとってしまうと、その絞り具合や力を入れ加減で新鮮根重が変化してしまう。立体的な根から均一に水分を除去するには、遠心法を利用して水分を分離する方法が望ましい。定政ら (2019, 2020) は、根をネットに入れて洗濯機の遠心脱水機能 (約3 Gに相当) を活用し、1分間処理した後の重量値をトマト根の新鮮重として用い、スプレーポニクにおける台木の違いがトマト「華小町」の地下部に与える影響を明らかにした。

本研究では、遠心法を活用しつつ、イネの細根の損傷を抑え、かつ測定機器を低価格で用意できる簡易の脱水法を考案した。さらにその脱水法について、大人数で同時測定しても測定値に個人差が生じにくく、比較的身体的負担が少ない方法であるかを検証し、検証結果に基づいて新鮮水稲根重の測定意義についても評



第1図 ネットを用いた手動脱水試験。

供試した新鮮根系 (左から日本晴, Swarna, KDML105) は、茎葉部を切り離さず根系から砂土を洗い落とした (a)、振とう試験開始直前の新鮮根をネットに入れた様子 (b)。水きりネットに入れた新鮮水稲根を0, 30, 60, 90, 120, 150秒間、矢印の軌道で勢いよく振とうして脱水した (c)。

価した。

材料と方法

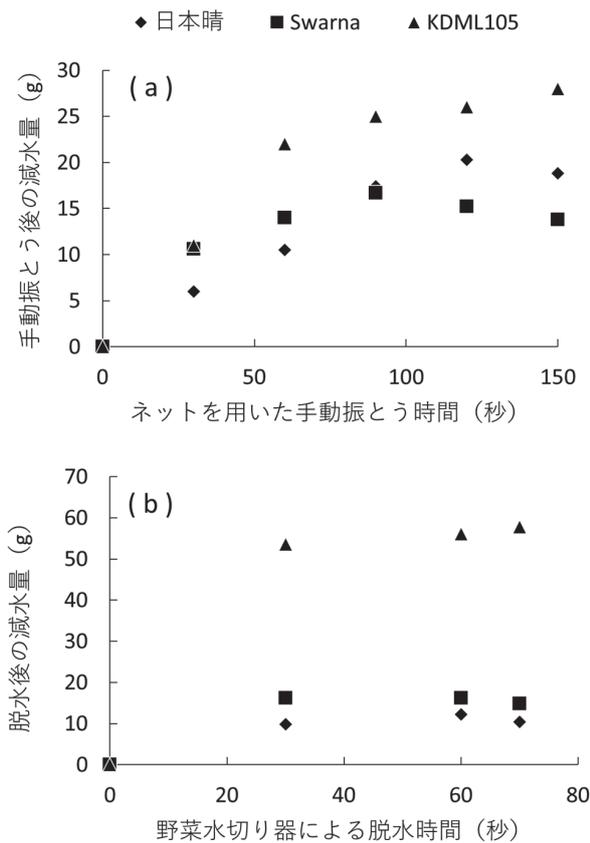
1. 新鮮水稲根の脱水実験

(1) 栽培条件

茎葉ならびに根系の発育程度の異なる KDML105, Swarna (indica) ならびに日本晴 (japonica) の計3水稲品種を供試し、酪農学園大学の温室で以下の栽培試験を実施した。2018年5月23日に育苗トレイに播種し、2018年6月19日に砂質土3.5 kgを充填した1/5000 aワグネルポットへ移植し、常時湛水条件で栽培した。2018年7月28日ならびに8月28日に新鮮根をサンプリングした。サンプリングの際に茎葉部の刈り取りは行わず、茎葉部と根系とが切り離されない状態で根に付着した砂土を丁寧に洗い落とした (第1図 a)。

(2) 脱水の候補手順

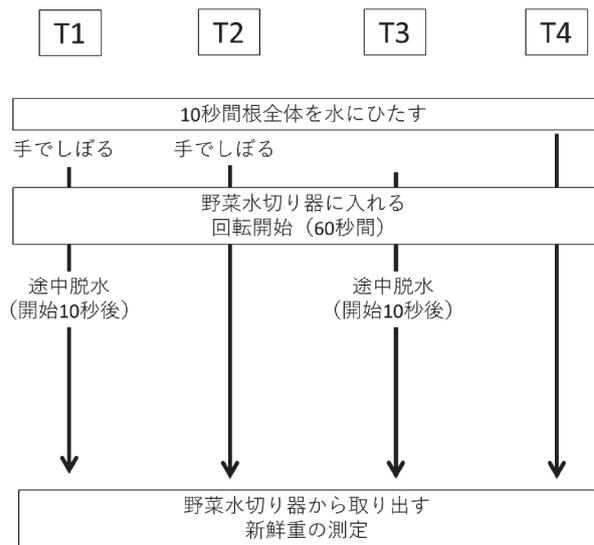
適切な脱水時間を検討するために以下試験を実施した。2018年7月28日に、市販の水切りネットを用いて、新鮮水稲根について、脱水時間と脱水後の根水切り量との関係を明らかにしようとした。水きりネットは三



第2図 振とうならびに脱水時間が水稻新鮮根の減水量に及ぼす影響。
 ネットを用いた手動振とう結果 (a). 野菜水切り器による脱水結果 (b). 各手法各品種とも n = 1.

角コーナー用のポリエチレン製で、28 cm × 25 cm の根を問題なく包み込める大きさであった (第2図 a, b). サンプルング後に水に浸しておいた新鮮水稻根を水から手で引き上げ、自然に滴る水滴がなくなることを確認した後、その重さを記録した。続いて新鮮水稻根を市販の水切りネットにすばやく入れ (第2図 b), 規定時間手で振とうして脱水した後に新鮮水稻根重を記録し、振とう前と後の新鮮水稻根重の差から、振とうによる減水量を算出した。以上の手順を 0, 30, 60, 90, 120, 150 秒間実施した。測定には3品種を1個体ずつ供試し、試験者3名で各個体を1個体ずつ同一のタイミングで振とうした。

2018年8月27・28日に、市販の野菜水切り器を用いて、新鮮水稻根について、脱水時間と脱水後の根水切り量との関係を明らかにしようとした。野菜水切り器は、内バスケットが直径22 cm, 深さ13.3 cmであり、大型の根も問題なく入る大きさであり、価格も2,312円 (Amazon.ne.jp, 2019年2月19日) と比較的低価格で購入しやすい「パール金属 サラダスピナー マイティ C-66」を選択した。規定時間脱水した後に新鮮水稻根重を記録し、脱水前と後の新鮮水稻根重の差から、



第3図 新鮮水稻根の水切り手順の4候補.

脱水による減水量を算出した。以上の手順を 0, 30, 60, 70 秒間実施した。測定には3品種を1個体ずつ供試し、試験者3名で各個体を1個体ずつ同一のタイミングで脱水した。測定結果より、野菜水切り器の適切な脱水 (回転) 速度ならびに脱水時間 (根新鮮重がこれ以上減少しない脱水時間) として、脱水速度を1回転/秒に、脱水時間を60秒間に決定した。この脱水速度・時間をもって、後述する4つの各測定法 (T1 ~ T4) に対して、同一個体の日本晴を60秒間脱水後に繰り返し3回ずつ供試し、反復3の試験とした。野菜水切り器に新鮮水稻根を入れる際に蓋で密閉する必要があったため、試験実施直前に茎葉部と根とを切り離れた。野菜水切り器を用いた測定法として以下の4つの測定法を考案し、新鮮水稻根重の変化について比較検証した。

候補手順1 (T1) (第3図)

1. 新鮮水稻根の全体を10秒間水に浸した。
2. 根を水面から取出し、軽く手でしぼったのち、新鮮水稻根重を測定した。
3. 新鮮水稻根を野菜水切り器内バスケット側面に沿わせるように広げて入れ、1回転/秒の速度で脱水を開始した。
4. 回転開始後10秒でいったん回転を停止し、野菜水切り器の底面にたまった水を、蓋部の排水溝から排水した。
5. 1回転/秒の速度で回転を再開し、50秒間回転を続けた。
6. 回転を停止し、野菜水切り器から新鮮水稻根を取出し、新鮮水稻根重を測定した。

候補手順 2 (T2) (第 3 図)

1. 10 秒間根全体を水に浸した。
2. 根を水面から取出し、軽く手でしぼったのち、新鮮水稻根重を測定した。
3. 新鮮水稻根を野菜水切り器内バスケット側面に沿わせるように広げて入れ、1 回転/秒の速度で脱水を開始した。
4. 回転開始から 60 秒後に停止し、野菜水切り器から新鮮水稻根を取出し、新鮮水稻根重を測定した。

候補手順 3 (T3) (第 3 図)

1. 新鮮水稻根の全体を 10 秒間水に浸し、水面から取出してすぐに新鮮水稻根重を測定した。
2. 新鮮水稻根を野菜水切り器内バスケット側面に沿わせるように広げて入れ、1 回転/秒の速度で脱水を開始した。
3. 回転開始後 10 秒でいったん回転を停止し、野菜水切り器の底面にたまった水を、蓋部の排水溝から排水した。
4. 1 回転/秒の速度で脱水を再開し、50 秒間回転を続けた。
5. 回転を停止し、野菜水切り器から新鮮水稻根を取出し、新鮮水稻根重を測定した。

候補手順 4 (T4) (第 3 図)

1. 新鮮水稻根の全体を 10 秒間水に浸し、水面から取出してすぐに新鮮水稻根重を測定した。
2. 新鮮水稻根を野菜水切り器内バスケット側面に沿わせるように広げて入れ、1 回転/秒の速度で脱水を開始した。
3. 回転開始から 60 秒後に停止し、野菜水切り器から新鮮水稻根を取出し、新鮮水稻根重を測定した。

各処理における脱水開始前と 60 秒間脱水終了後との新鮮水稻根重の差は、Microsoft EXCEL 2010 を使用し、t 検定を用いて有意差検定した。

2. 提案法の有効性検証実験

(1) 栽培条件

茎葉ならびに根系の発育程度の異なる KDML105, Swarna (indica) ならびに日本晴 (japonica) の計 3 水稻品種を供試し、酪農学園大学の温室で以下栽培試験を実施した。2019 年 4 月 27 日に育苗トレイに播種し、5 月 24 日に砂質土を充てんした 1/5000 a ワグネルポットへ移植した。活着を確認後、6 月 7 日から間断灌水を開始した。すなわち常時湛水区 (対照区) ならびに 3 処理区を設け、3 処理区はそれぞれ土壌の水ポテンシャル (pF メータで測定) が -20 kPa, -40 kPa, -70 kPa

到達時に再灌水した。8 月 2 日に、全個体の茎葉部を地際約 2.0 cm からハサミを用いて刈取り、もっとも茎葉部生育が盛んであった KDML105 の茎葉部新鮮重を測定した。全 72 個体の根系は、8 月 2 日から 8 月 3 日の 2 日間でシャワーホースを用いてサンプリングした。

(2) 提案法に基づく脱水手順

2019 年 8 月 3 日に、全 72 個体の新鮮水稻根重を以下の方法で測定した (第 5, 6 図)。実験 1 と同じ野菜水切り器を用い、以下の手順で新鮮水稻根を脱水した。測定人数は 3 名で、各自が実験 1 と同じ野菜水切り器を 1 台ずつ用いた。

提案法に基づく脱水手順 (第 5, 6 図)

1. 乾燥を防ぐ目的で、測定前の新鮮水稻根全体をあらかじめ水につけておいた。
2. 水から取り出した新鮮水稻根を野菜水切り器内バスケット側面に沿わせるように広げて入れ、1 回転/秒の速度で脱水を開始した (第 6 図 a, b, c)。
3. 回転開始後 10 秒でいったん回転を停止し、野菜水切り器の底面にたまった水を、蓋部の排水溝から排水した (第 6 図 d)。
4. 1 回転/秒の速度で脱水を再開し、50 秒間回転を続けた (第 6 図 e)。
5. 回転を停止し、野菜水切り器から新鮮水稻根を取出した (第 6 図 f)。

(3) 提案法を用いた根新鮮重の測定評価

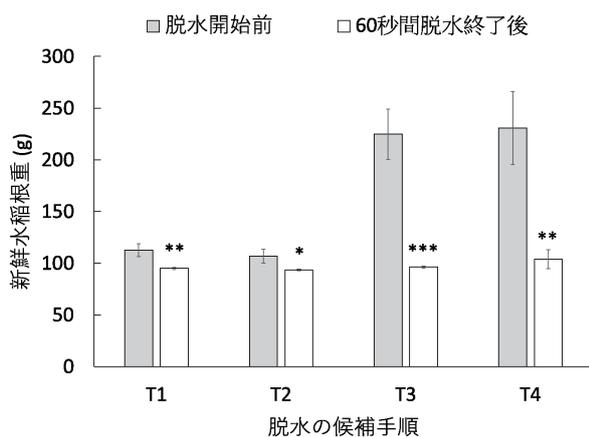
根のサイズが大きいほど均一な脱水が困難になるため、より大きな新鮮水稻根を脱水できれば提案法の有効性を示すことができると考えた。3 品種の中でもっとも根系のサイズが大きかった KDML105 の新鮮水稻根重を提案法による脱水後に測定し、常時湛水区との差を Dunnett 検定を用いて有意差検定した。

結果

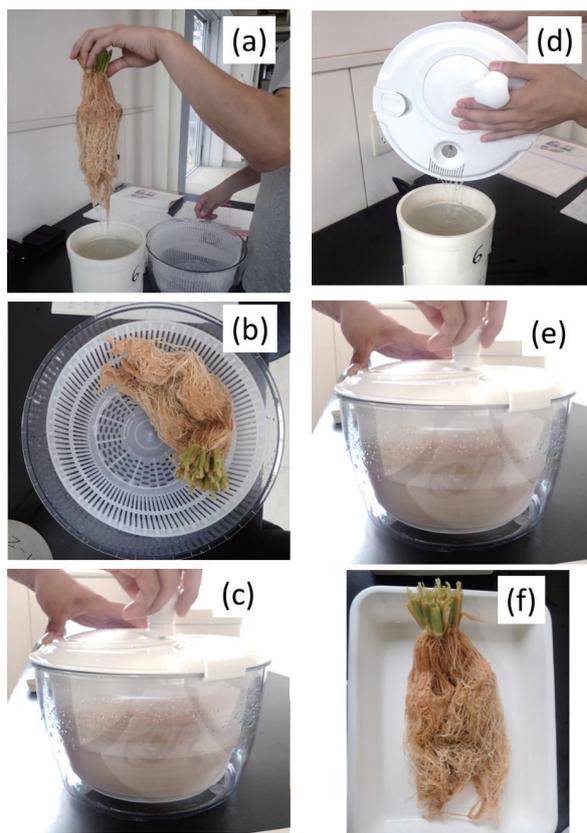
1. 提案法の条件検討結果

ネット振とう時間とネット振とう後の減水量との関係を見ると、いずれの品種も 90 秒で減水量がおおよそ頭打ちとなり (第 2 図 a)、90 秒間のネット振とう後には、根系から水がしたり落ちることなく脱水されていた。一方で 60 秒以上の手動振とうは測定者の肉体的負担が極めて大きかった。

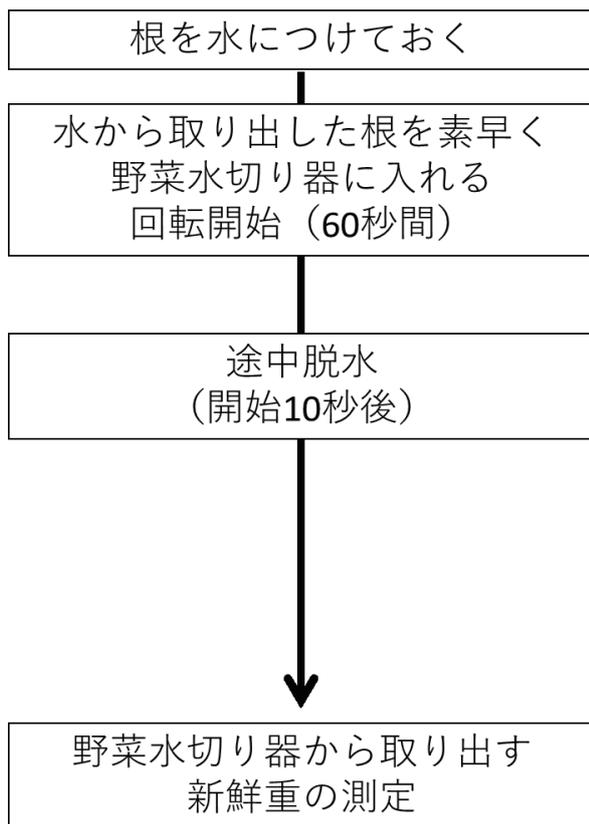
野菜水切り器による脱水時間と脱水後の減水量との関係を見ると、1 回転/秒の回転速度により、いずれの品種も 60 秒の脱水で減水量が頭打ちとなった (第 2 図 b)。脱水後には、根系から水がしたり落ちること



第4図 異なる脱水手順が新鮮水稻根重に与える影響。脱水の候補手順 T1 ~ T4 は第3図 T1 ~ T4 と対応する。T1 ~ T4 の脱水には共通して日本晴の同一個体を用いた。図中の*, **, *** は t 検定により、各処理区において脱水開始前と比較して 5%, 1%, 0.1% 水準で有意差があることを示す。図中のバーは標準偏差を示す (n = 3)。



第6図 本研究で提案する新鮮水稻根重の測定手順。脱水手順は第5図の候補手順3と対応する。全体を水にひたしておいた根系を取り出す (a)、水から取り出した根を素早く野菜水切り器に入れる。この際に根は野菜水切り器側面に広げるようにセットする (b)、1回転/秒で10秒間回転させる (c)、回転開始から10秒後に、底面に溜まった水を排水する (d)、1回転/秒で50秒間回転させる (e)、脱水完了した状態の根系 (f)。



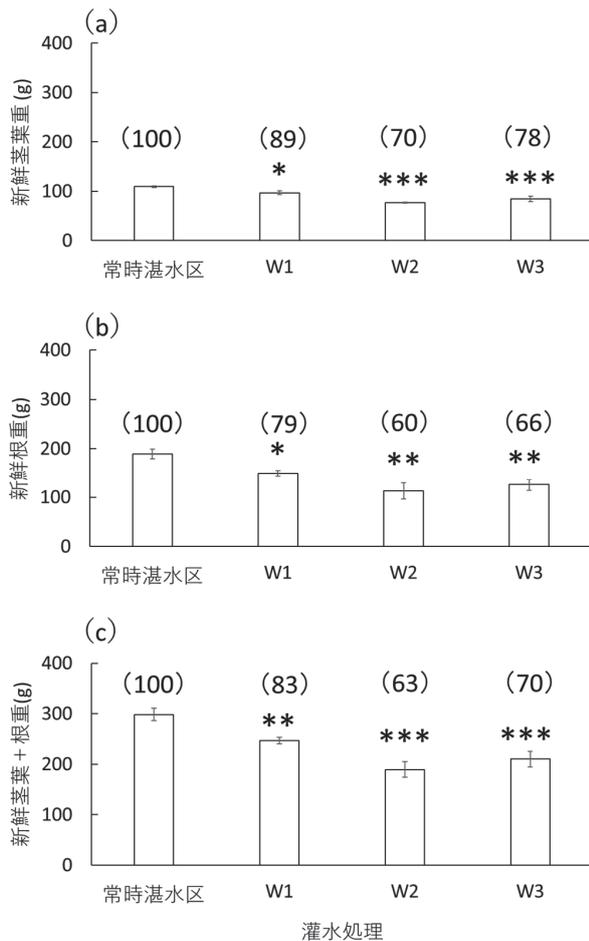
第5図 本研究で提案する新鮮水稻根の脱水手順。脱水手順は第5図の候補手順3と対応する。

となく脱水されていた。野菜水切り器を用いた候補手順1から4 (第3図) の脱水効果についてみると、いずれの処理区においても脱水開始前に比べて60秒間脱水終了後に新鮮水稻根重が有意に減少した (第4図)。

一方で、候補手順4 (第3図) のみ3回中1回の測定において、60秒間脱水終了後の野菜水切り器水位が内バスケット底部を超え、内バスケット内の新鮮根に接触した。60秒間脱水終了後の新鮮水稻根重を比較すると、処理間に有意差こそみられなかったものの、候補手順4 (第3図) の新鮮重ばらつきは他の処理区に比べて顕著に大きかった (第4図)。内バスケット内の新鮮根に脱水された水が接触しなかった場合、60秒間脱水終了後には、根系から水がしたり落ちることなく脱水されていた。

2. 提案法の有効性検証結果

いずれの個体も、内バスケット内の新鮮根に脱水された水は接触しなかった。計72個体の水稻根の脱水には、測定者3名で計108分かかった。KDML105の莖葉ならびに新鮮水稻根重は、常時湛水区に対し、すべての間断灌水処理区で有意に低下した (第7図)。



第7図 灌水処理がKDML105の茎葉・根新鮮重に及ぼす影響。新鮮茎葉重 (a), 新鮮根重 (b), 新鮮茎葉 + 根重 (c)。W1 ~ W3 はそれぞれ再灌水時の水ポテンシャル -20, -40, -70 kPa を示す。括弧内の数値は W0 を 100 としたときの各処理区の相対値を示す。図中の *, **, *** は Dunnett 検定で W0 を対照区としたときにそれぞれ 5%, 1%, 0.1% 水準で有意差が存在することを示す。図中のバーは標準偏差を示す (n = 3)。

4. 考察

1. 野菜水切り器を用いた根新鮮重簡易測定の手順

市販の水切りネットを用いた手動振とう結果より、一定時間の脱水によって新鮮水稻根重を定量的に評価できることが明らかとなった (第2図a)。一方で、手動の振とうは試験者にとっての身体的負担が極めて大きく、振とう速度にも個人差が発生しやすいため、サンプル数が増えた場合は測定誤差がさらに大きくなることが予想された。以上から、新鮮水稻根の脱水に市販の水切りネットを用いる方法は最善ではないと考えた。

野菜水切り器を用いた根の脱水試験では、手動振とう結果と同様に、一定時間の脱水によって新鮮水稻根

重を定量的に評価できることが明らかとなった (第2図b)。野菜水切り器を用いた場合、いずれの回転速度であっても身体的負担はほぼ生じない一方で、早すぎても遅すぎても一定速度を維持することが困難であった。1回転/秒の回転速度は測定者にとって遵守しやすく、かつ同速度60秒間の脱水によって新鮮水稻根重がいずれの品種も頭打ちとなったため (第2図b)、「60秒間1回転/秒の回転速度で脱水する」ことを測定の基本指針と定めた。

この基本指針を守った上で、いずれの候補手順によっても新鮮水稻根が確実に脱水され、かつどの候補手順を用いても新鮮水稻根重を同様に評価できることが明らかとなった (第3, 4図)。しかし、脱水開始から終了まで一度も排水しない候補手順4では、60秒間の脱水で生じた水が新鮮水稻根に接触する危険性が生じた。手順法の検討試験に供試した日本晴 (japonica) は他の水稻品種に比べて特別大きな根系サイズではないため、日本晴に比べて大型な根系に候補手順4を用いた場合、脱水された水が野菜水切り器の底に溜まって根に接触する可能性はより高まると考えられる。よって候補手順4は候補から除外することが望ましいと判断した。候補手順1から3では、新鮮水稻根重に有意差は認められず、かつ値のバラツキも問題にならない程度であったため、いずれの方法であっても簡易脱水法として採用可能と考えられた。その一方で、候補手順1および2で実施した「脱水開始前に手で根をしぼる」という手順は、しぼる力に個人差が生じやすく、根を傷めるリスクを生じさせることも心配される。すなわちこの手順を含む候補手順1および2は候補から除外することが望ましいと判断した。よって、今回の検証結果から、もっとも正確に新鮮水稻根重を測ることのできる手順は候補手順3であると考えた (第5, 6図)。

2. 提案法の有効性

提案法の有効性について、1) 低価格で用意できるか、2) 比較的体にかかる負担が少なく、測定誤差が発生しにくいのか、3) 提案法は実用に適するか、の3点に着目して検証した。まず1)の検証結果について考察する。今回使用した野菜水切り器が、定政ら (2019, 2020) の洗濯機を使う方法と比べて極めて安価であり、1回転/秒の回転速度であれば少なくとも提案方法を約50回試行しても問題なく使い続けることができた。耐久性と価格の面から考えて、1)の条件を満たすと考えた。続いて2)の検証結果について考察する。本実験で用いた野菜水切り器はハンドルの摩擦抵抗が極めて小さいため、試験者の体力の程度に関わらず、意識して回転速度をコントロールすることができた。今回のよう

に1回転/秒の回転速度に定めた場合は、メトロノームのようにリズムを刻むものがあればより回転速度を合わせやすいと考えられる。根洗いならびに根長測定に比べ、1回転/秒の速度で野菜水切り器を回転させるだけの提案法は、初心者にとっても測定が容易であった。本試験の測定者は3名のうち1名が補助員であり初めての参加となったが、トラブル等もなくスムーズに測定法による水稻新鮮根の脱水が進んだ。計3台を用いて3名同時進行で脱水を進め、全72個体の根新鮮重測定を108分間で、すなわち1個体あたり1.5分で脱水できた。これらの結果・考察より、提案法は初心者でも簡単に、また測定効率を上げることが容易な根新鮮重測定方法であると判断し、2)の条件を満たすと考えた。最後に3)の検証結果について考察する。根新鮮重の測定結果より、間断灌水処理が茎葉部ならびに根系の新鮮重に与える影響を定量的に評価することができた(第4, 7図)。土壌の乾湿によって水稻根の根長や根乾物重が変動することはこれまでに複数報告されており(Niones et al., 2015; Suralta et al., 2018), 本提案法によって、新鮮水稻根も同様の傾向がみられることが示された。大型な根系ほど根系全体からの均一な脱水は困難になるが、そのような根系に対しても有効な提案法であるかを検証するため、実験2には日本晴に比べて根系が顕著に大型なKDML105を用いた(Kameoka et al., 2015; Kameoka et al., 2016)。提案法によって脱水されたKDML105の根系は、根系から水滴がしたり落ちず、ポット内での根系の発育の様子を再現できるくらいに脱水できていた。また、実験1の候補手順4で見られたような、脱水された水が野菜水切り器の底に溜まって根に接触する、という事態は生じなかった。以上より、簡易の脱水法として、3)の条件も満たすと考えられた。

さらに、提案手法を用いて得られた結果によって、新鮮水稻根重の測定意義も明らかとなった。ポット栽培試験において、個々のポットにおける土壌水分条件を定量的に評価するには、「土壌中の水の重さ」を求める必要がある。本研究において、新鮮水稻根重は土壌水分条件の変化によって顕著に変化し、さらにいずれの土壌水分条件下においても、新鮮水稻根重の絶対値が新鮮茎葉重を上回った。この結果から、「土壌中の水の重さ」を正確に求めるうえで新鮮水稻根重の存在を決して無視できない可能性が示された。また、先行研究で報告される根乾物重の値(Niones et al., 2015)に比べて本研究で得られた根新鮮重の値は極めて大きかった。新鮮水稻根重は土壌水分量の定量化だけでなく、根の保水力を考察する上でも役立つことが期待される。

本研究によって、低価格で用意できて、測定誤差が

生じにくく、比較的体にかかる負担も少ないような、新鮮水稻根の簡易脱水法を提案できた。「根の表面に水がついた状態の根系」から、提案法を用いて表面水を適切に脱水することで、「保水状態の根系の新鮮重」を求めることができたと考えられる。今後は提案法で求められる水稻新鮮根の絶対値の信頼性について検証を進める予定である。

謝辞

本研究は日本学術振興会(JSPS) 科研費17K15218(2017年度若手研究(B)「イネ根の吸水能改善に関する研究: 節水栽培における生産安定性の向上を目指して」)を受けたものです。杉野巧真氏(2018年当時酪農学園大学4年生)、林諒太郎氏(2018年当時酪農学園大学4年生)、船越太貴氏(2019年当時酪農学園大学4年生)には測定調査にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を伝えます。

引用文献

- Kameoka, E., Suralta, R. R., Mitsuya, S., Yamauchi, A. 2015. Matching the expression of root plasticity with soil moisture availability maximizes production of rice plants grown in an experimental sloping bed having soil moisture gradients. *Plant Prod. Sci.* 18: 267-276.
- Kameoka, E., Suralta, R. R., Mitsuya, S., Yamauchi, A. 2016. Developmental plasticity of rice root system grown under mild drought stress condition with shallow soil depth; Comparison between nodal and lateral roots. *Plant Prod. Sci.* 19: 411-419.
- 河野恭広, 山内章, 川村則夫, 野々山利博, 巽二郎, 稲垣憲孝 1987. 夏作イネ科作物の耐湿性・耐旱性程度に関する種間比較. *日作紀* 56: 115-129.
- 河野恭広, 山内章, 野々山利博, 巽二郎 1988. 発根能力からみた真作イネ科作物の湛水条件における生育反応の比較. *日作紀* 57: 321-331.
- Nguyen, N. T. A., Van Pham, C., Nguyen, D. T. N., Mochizuki, T. 2015. Genotypic variation in morphological and physiological characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) under aerobic conditions. *Plant Prod. Sci.* 18: 501-513.
- Niones, J. M., Inukai, Y., Suralta, R. R., Yamauchi, A. 2015. QTL associated with lateral root plasticity in response to soil moisture fluctuation stress in rice. *Plant Soil* 391: 63-75.
- Pang, Z., Zhao, Y., Xu, P., Yu, D. 2020. Microbial diversity of upland rice roots and their influence on rice growth and drought tolerance. *Microorganisms*. 8: 1-18.
- Pardales, J. R., Banoc, D. M., Yamauchi, A., Iijima, M., Celia, Esquibel, B. 2000. The effect of fluctuations of soil moisture on root development during the establishment phase of sweetpotato. *Plant Prod. Sci.* 3: 134-139.
- 定政哲雄, 中野明正, 佐藤信仁, 安藤郁奈 2019. スプレーポニクにおけるトマト‘華小町’の台木による多収化と根の特徴. *根の研究* 28: 43-48.

- 定政哲雄, 山浦寛子, 中野明正, 安藤郁奈, 佐藤信仁 2020. 接ぎ木したトマト‘華小町’の部位別ミネラル含有量の特徴と生産性との関係. 根の研究 29: 77-83.
- Siopongco, J. D. L. C., Sekiya, K., Yamauchi, A., Egdane, J., Ismail, A. M., Wade, L. J. 2008. Stomatal responses in rainfed lowland rice to partial soil drying: evidence for root signals. Plant Prod. Sci. 11: 28-41.
- Suralta, R. R., Niones, J. M., Kano-Nakata, M., Tran, T. T., Mitsuya, S., Yamauchi, A. 2018. Plasticity in nodal root elongation through the hardpan triggered by rewatering during soil moisture fluctuation stress in rice. Sci. Rep. 8, 1-11.
- Tran, T. T., Kano-nakata, M., Suralta, R. R., Menge, D., Mitsuya, S., Inukai, Y., Yamauchi, A. 2015. Root plasticity and its functional roles were triggered by water deficit but not by the resulting changes in the forms of soil N in rice. Plant Soil 386: 65-76.
- Zhang, X., Zhou, S., Fu, Y., Su, Z., Wang, X., Sun, C. 2006. Identification of a drought tolerant introgression line derived from Dongxiang common wild rice (*O. rufipogon* Griff.). Plant Mol. Biol. 62: 247-259.
- Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J., Cui, K., Nie, L. 2016. Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. Plant Growth Regul. 78: 167-178.

植物組織の空隙率測定方法—2. アルキメデス法—

宮下智貴¹⁾・江尻真斗¹⁾・島村聡²⁾・山内卓樹³⁾・塩野克宏^{*1)}

1) 福井県立大学大学院生物資源学研究科

2) 農研機構東北農業研究センター

3) 名古屋大学生物機能開発利用研究センター

要 旨：空隙率は根の酸素通気と密接に関わるため、植物の耐湿性指標としてよく用いられる。アルキメデス法は本連載第1回目で紹介した比重法と同様に植物内の空隙率を計測できる方法である。本法は生重量が1g程度の試料から根系全体といった大きな器官の測定まで幅広く評価できる。測定には床下秤量付きの天秤と真空ポンプなどの減圧状態をつくることのできる装置を用いる。本稿が読者にとってアルキメデス法の活用の一助になることを願う。

キーワード：空隙率, 細胞間隙, 通気組織, 浮力, 方法論.

Measurement of plant tissue porosity: II. Archimedes method : Tomoki MIYASHITA¹⁾, Masato EJIRI¹⁾, Satoshi SHIMAMURA²⁾, Takaki YAMAUCHI³⁾ and Katsuhiko SHIONO¹⁾ (¹⁾Graduate School of Bioscience and Biotechnology, Fukui Prefectural University, ²⁾Tohoku Agricultural Research Center, NARO, ³⁾Bioscience and Biotechnology Center, Nagoya University)

Keywords : Aerenchyma, Buoyant force, Intercellular space, Methodology, Porosity.

1. はじめに

空隙率 (Porosity) は根の酸素通気と密接に関わるため、植物の耐湿性指標としてよく用いられる。本連載の第1回目では植物組織の空隙率測定方法として、比重瓶法を取り上げた。本報では比重瓶法と同様に固体内のガス空間を計測できるアルキメデス法について紹介したい。

アルキメデス法は Katayama (1961) と Raskin (1983) によって確立され、Thomson et al. (1990) によって詳しく説明された浮力を原理にした古い手法であるが、その精度の高さと簡便性から現在でも第一線の研究に用いられている。根の空隙率 (Root porosity, %) はアルキメデスの原理に基づいた浮力の測定を応用して、根の中にある気体の体積 ($V_{gas\ space}$) と根の体積 (V_{root}) を計測し、次式により算出される。

$$Root\ porosity\ (\%) = \frac{V_{gas\ space}}{V_{root}} \times 100 \quad (式1)$$

本法は根だけでなく葉や茎など他の器官でも適用できる (Katayama, 1961; Raskin, 1983)。また、比較的微量な試料の測定に用いられる比重瓶法とは異なり、アルキメデス法には生重量が1g程度の試料から根系全体のように大きな器官まで幅広く測定できる。なお、

式1にあるように本法では、空隙率の測定過程で根の体積が計測できる。本法の測定原理は根系の生育指標として利用される根の体積の計測にも利用できるので、その観点からも本法の習得をお勧めしたい。

2. アルキメデス法による空隙率測定の原理

どうして浮力を測定することによって体積が算出できるのか？ 具体的な手順を説明する前にアルキメデス法による空隙率測定の原理を説明したい。アルキメデスの原理は「液体に沈められた物体は、その物体が押しのけている液体の重さと同じ大きさで上向きの浮力を受ける」ことを示している。

$$B = \rho V \quad (式2)$$

ここで、 B は浮力、 ρ は液体の密度、 V は沈められた物体の体積である。

したがって、水中に沈められた物体が受ける浮力は空気中の物体の重さ (W_{air}) と水中に沈められた物体の重さ (W_{water}) の差として近似できる (Raskin, 1983)。

$$B = W_{air} - W_{water} \quad (式3)$$

式2と式3をあわせると

$$W_{air} - W_{water} = \rho V \quad (\text{式 4})$$

となり、物体の体積を求める式に変換すると

$$V = \frac{W_{air} - W_{water}}{\rho} \quad (\text{式 5})$$

となる。この時、水中に物体を沈めている場合であれば水の密度は既知であるため、物体の体積を求めることができる。対象の物体が植物の根であれば、 V は根の体積ということになる。

根の中にある気体の体積 ($V_{gas\ space}$) の算出も同様にアルキメデスの原理を応用して計測できる。上述の根の体積は細胞そのものが占める空間とガス空間の和である。ビーチボールに例えるならば、ビニール製の外枠のもつ体積と内側の空気の入った空間の体積の和ということになる。根を水中に沈めたまま減圧すると、根の内側の空間にあったガスを取り除くことができる。さらに、ゆっくりと常圧に戻すと根の中のガス空間に水が流入する。この根の中のガスと水が入れ替わった状態の根を水中に沈めて測定した重さ (W_{root}) と減圧前の重さ (W_{water}) の差は根に含まれていたガスの浮力分 ($B_{gas\ space}$) に相当する。

$$B_{gas\ space} = W_{root} - W_{water} \quad (\text{式 6})$$

ゆえに、式 4 のようにアルキメデスの原理を応用すると根の中にある気体の体積 ($V_{gas\ space}$) は以下のようになり、既知の水の密度を代入することで算出できる。

$$V_{gas\ space} = \frac{W_{root} - W_{water}}{\rho} \quad (\text{式 7})$$

3. アルキメデス法による空隙率測定

初めての方が理解しやすいように、ここでは実際に空隙率を測定する手順を示しながら順を追って説明していきたいと思う。測定には水耕栽培した植物体でも、土で栽培した植物体のどちらでも試料として用いることができる。今回は水田で栽培した移植後 82 日、約 12 葉期のイネ (品種コシヒカリ、莖葉長: 100 cm, 最長根長: 28 cm) の根の空隙率の測定を例に用いる (第 1 図 A)。

[手順 1] スコップで傷をつけないように注意深く根を採取し、根についた土を水で可能な限り洗い流す。根が乾燥しないように注意して、圃場から研究室に試料を持ち帰る。

[手順 2] その後の測定をしやすくするために、根を 5 cm 程度にカミソリで切り分ける (第 1 図 B)

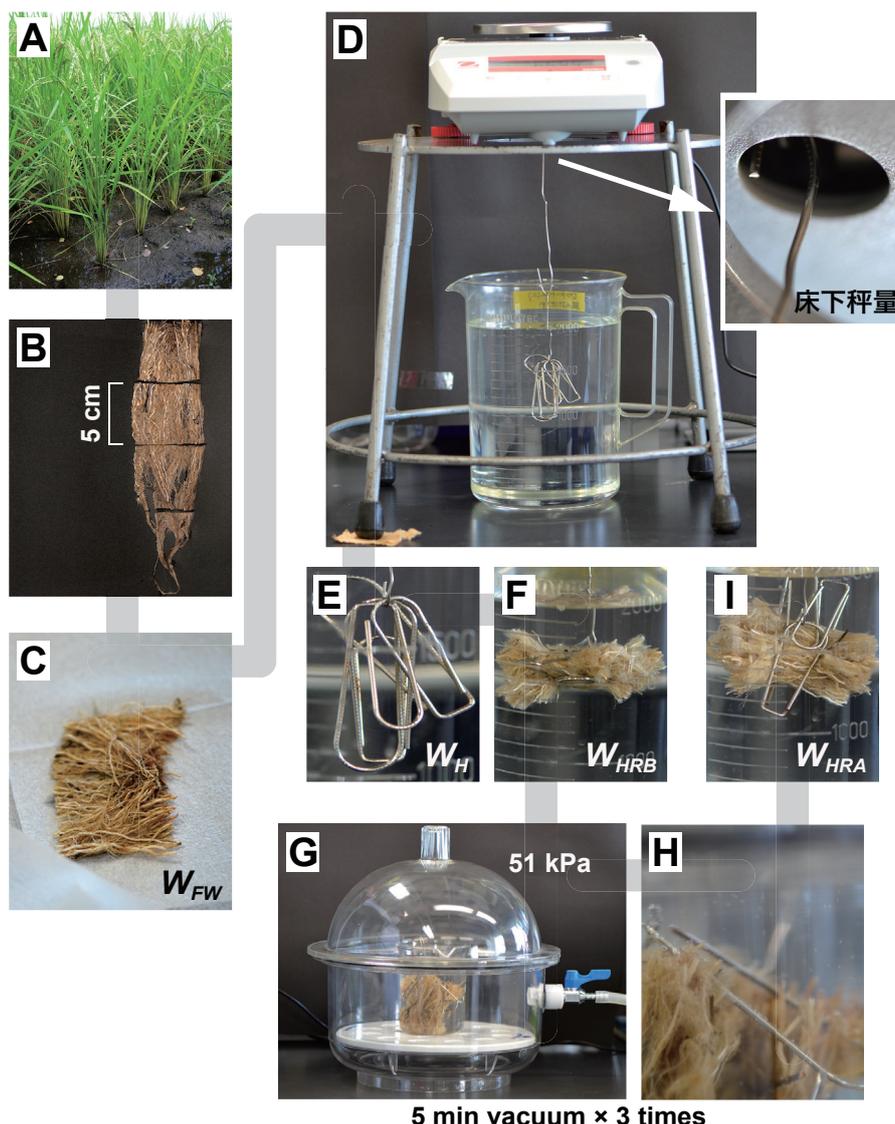
[手順 3] 切り分けた根をペーパータオルの上に広げ、根の表面についた水をペーパータオルで優しくふき取り、根をまとめて生重量 (W_{FW}) を電子天秤 (PA213CJP, OHAUS Corporation, Parsippany, NJ, USA) で計測する。電子天秤は床下秤量ができる最小表示が 1 mg のものを用いる。根の水を拭き取る時に根の空隙を押し潰さないように注意する。また、根が乾燥しないように手早く操作を行うことに気をつける (第 1 図 C)。

[手順 4] 床下秤量が可能な電子天秤を水平が保てる台の上に乗せ、その下に水を 2 L 入れたプラスチック製のピーカーを設置する (第 1 図 D)。天秤の底部に針金 (長さ 5 cm 程度の大きさの市販クリップを手で伸ばして整形したもの) を引っ掛けるように付けておく。

[手順 5] 整形した針金で 4 つのクリップを束ねたものを一セットとして天秤の底部に付けて、針金に引っ掛けるようにしてピーカーの水に沈め、水中におけるクリップ重量 (W_H) を測定する (第 1 図 D, E)。この時、ピーカーの壁面にクリップが触れると浮力が正確に測定できないので、4 つのクリップが全てピーカーと接触することなく水中に沈むように注意する。

[手順 6] クリップを水から取り出し、4 つのクリップで根の空隙を押しつぶさない程度に挟むことで根をまとめ、ピーカーの水に沈め、水中における根とクリップの重量 (W_{HRB}) を測定する (第 1 図 F)。この時も、クリップ重量 (W_H) を測定した時と同様に沈めたクリップと根がピーカーの壁面に触れず、水中に沈むように注意する。なお、浮力の測定に 4 つのクリップを使用しているのは根を束ねるためだけでなく、試料とクリップを合わせた比重を 1 よりも大きくして水に沈めるためである。試料の体積が大きい場合にはクリップの数を増やして、試料とクリップが水中に沈むように調節すること。

[手順 7] 続いて、根の中のガスを取り除くステップに移る。まず、水から根とクリップセットを取り出して水を満たした 200 mL ピーカーに沈める。この時、根が水中から出てしまうと根の中のガスが取り除けないため、根が浮きあがらないようにクリップで重しをする。さらにガスが抜けやすいように、根



第1図 アルキメデス法での空隙率の測定手順。

アルキメデス法は浮力の計測を軸に根の体積と根に含まれるガスの体積を計測して空隙率を求める手法である。ここでは水田で栽培した移植後82日、約12葉期のイネ(品種コシヒカリ、莖葉長:100 cm、最長根長:28 cm)の根の空隙率の測定を例として示す(A)。その後の操作をやすくするために、水でよく洗った根を5 cm程度の長さに切り分ける(B)。切り分けた根をペーパータオルの上に広げ、根の表面についた水をふき取り、根をまとめて生重量(W_{FW})を測定する(C)。床下秤量ができる電子天秤(D)を使って水に完全に沈めたクリップの重量(W_H , weight of submerged holder)を測定する(E)。先ほど使用したクリップで根をまとめて水中に沈めてクリップと根の重量(W_{HRB} , weight of submerged holder with roots before infiltration)を測定する(F)。水を満たした200 mL ビーカーに根を立て51 kPaで5分間減圧することで根の中のガスを取り除く(G)。空隙率の高い試料を減圧すると根の中にあるガスが気泡となって出てくる様子が確認できるはずである(H)。ガススペースにゆっくりと水を流入させるために、ゆっくりと常圧に戻るようにコックを小さく開ける。計3回、5分間の減圧と解放を繰り返すことで根の中のガスを取り除き、水に置換する。先ほど用いた重量を計測済みのクリップを使ってクリップと根の重(W_{HRA} , weight of submerged holder with roots after infiltration)を計測する(I)。以上のように計測した測定値を用いて、根の体積は式8で、ガスの体積は式9で計算する。これらの値を用いて式1により、根の空隙率を算出できる。

の切り口が上を向くように気をつける(第1図H)。

[手順8] ビーカーに沈めた根を真空ポリカデシケーターに入れて、油圧回転真空ポンプ(GLD-051, アルバック, 茅ヶ崎, 日本)と真空用

レギュレーター(VR-2, アズワン, 大阪, 日本)でデシケーター内が51 kPaになるように調整し、5分間脱気する(第1図G)。ガスの体積が大きい根の場合、脱気中に根からガスが抜け出ていくのが観察できる

第1表 アルキメデス法による植物種における不定根の空隙率.

種名	分布域	空隙率 (%)		出典
		好気条件 ¹⁾	嫌気条件 ²⁾	
<i>Hordeum vulgare</i> オオムギ	非湿地帯	6.7-9.5	15.3-15.8	McDonald et al. (2001a), Garthwaite et al. (2003)
<i>Sorghum bicolor</i> ソルガム	非湿地帯	14.3	27.0	McDonald et al. (2002)
<i>Triticum aestivum</i> コムギ	非湿地帯	3.4-5.8	17.7-21.6	McDonald et al. (2001a, 2001b)
<i>Echinochloa crus-galli</i> イヌビエ (変種含む)	湿地帯	22.7-33.2	30.8-40.0	McDonald et al. (2002), Ejiri and Shiono (2019)
<i>Oryza sativa</i> イネ	湿地帯	19.7-27.4	31.2-48.3	McDonald et al. (2002), Colmer (2003), Colmer et al. (2006)

1) 好気条件：水耕液に空気を送り続けた条件。2) 嫌気条件：0.1% (w/v) の寒天を溶かした水耕液を窒素ガスで嫌気状態にした条件。栽培期間、生育期間、処理期間、通気組織の発達程度によって空隙率は異なるため、出典間での単純な比較はできない。

(第1図H).

[手順9] 5分間の脱気を終えた後、デシケーターのコックを小さく開けて、ゆっくりと常圧に戻すことで根のガス空間に水を流入させ、ガスを水で置換させる。

[手順10] 真空ポンプでの手順8と手順9の脱気工程を計3回繰り返すことで根の中にあつたガスが水に置換される。

[手順11] 根とクリップをビーカーから取り出し、手順6と同様に根とクリップを水中に沈め、脱気した根とクリップの重量 (W_{HRA}) を測定する (第1図I)。根の体積は式8で、ガスの体積は式9で計算できる。これらの値を用いて式1により、根の空隙率が算出できる。

$$V_{root} = \frac{W_{FW} - (W_H - W_{HRB})}{\rho_{H_2O}} \quad (式8)$$

$$V_{gas\ space} = \frac{W_{HRA} - W_{HRB}}{\rho_{H_2O}} \quad (式9)$$

ρ_{H_2O} : 1 atm における水の密度 (20°C)。数値は 0.99820 g/cm³。

では、今回、水田から採取してきたイネの根の計測値は以下ようになった。この数値を使って、具体的に計算してみると、根の体積は 8.555 cm³、根のガス空間の体積は 2.419 cm³、根の空隙率は 28.3% であることがわかる。

W_{FW} : 生重量 (g) = 12.797

W_H : 水中におけるクリップ重量 (1つの針金と4つのクリップ) (g) = 13.286

W_{HRB} : 水中における脱気前の根とクリップの重量 (g) = 9.029

W_{HRA} : 水中における脱気後の根とクリップの重量 (g) = 11.444

$$V_{root} = \frac{12.797 - (13.286 - 9.029)}{0.99820}$$

$$V_{gas\ space} = \frac{11.444 - 9.029}{0.99820}$$

$$Root\ porosity\ (\%) = \frac{2.419}{8.555} \times 100 = 28.3$$

4. いくつかの植物種における根の空隙率

はじめて空隙率を測定したとき、得られたその値が適当な値なのか判断に迷うことがある。いくつかの植物種の不定根についてアルキメデス法で空隙率を計測した結果を第1表としてまとめた。実際に測定したときの比較として活用して頂きたい。一般に、非湿地帯に分布する耐湿性の低い植物種 (オオムギ、ソルガム、コムギなど) は、湿地帯に分布する耐湿性の高い植物種 (イネやイヌビエなど) よりも低い空隙率を示す (第1表)。しかし、非湿地帯で生育する植物種であっても、嫌気条件では通気組織が発達し、空隙率が上昇する (第1表)。空隙率は生育環境だけではなく植物齢によっても変化する。空隙率の値の解釈にはこれらの点についても留意したい。

今回、水田に移植後 82 日のイネ (品種コシヒカリ) の根の空隙率を測定したが、その値は 28.3% であった。第1表の嫌気条件で栽培したイネの空隙率の値 (31.2 ~ 48.3%) と比べるとやや低めの値であるが、一般的な値に近い結果であったと考えられる。もちろん、生育期間や栽培条件による違いがあるので、一概に比較できない。

5. おわりに

アルキメデス法は原理がシンプルで比較的簡便に空隙率を測定できる方法である。ただし、正確な測定をするためには生重量として 0.5 g 以上の試料であることが望ましい。0.5 g 未満になると生重量の測定値に対する水分の除去具合の影響とその他の重量の計測誤差が大きくなるからである。測定環境によっても異なる

が経験的には、生重量 3-4 g 程度の根であれば、1 度にまとめて空隙率を測定できる。それ以上に根が多い場合には、根を 2 つ、3 つの束に分けてそれぞれ別々に V_{root} , $V_{gas\ space}$ を計測し、合算することで空隙率を求めることができる。本法は根以外の器官 (Katayama, 1961; Raskin, 1983) の空隙率や体積測定だけでなく、ガスフィルムの体積測定 (Pedersen et al., 2009) にも応用できる。皆さんの実験室に床下秤量ができる天秤があれば、是非、様々な根や植物器官の空隙率を測定してみたい。

謝辞

本稿の一部は科研費 (JP16KK0173, JP19K05978) の支援を受けて実施した。

引用文献

- Colmer, T. D. 2003. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.). *Ann. Bot.* 91: 301-309.
- Colmer, T. D., Cox, M. C. H., Voesenek, L. A. C. J. 2006. Root aeration in rice (*Oryza sativa*): evaluation of oxygen, carbon dioxide, and ethylene as possible regulators of root acclimatizations. *New Phytol.* 170: 767-778.
- Ejiri, M., Shiono, K. 2019. Prevention of radial oxygen loss is associated with exodermal suberin along adventitious roots of annual wild species of *Echinochloa*. *Front. Plant Sci.* 10: 254.
- Garthwaite, A. J., von Bothmer, R., Colmer, T. D. 2003. Diversity in root aeration traits associated with waterlogging tolerance in the genus *Hordeum*. *Funct. Plant Biol.* 30: 875-889.
- Katayama, T. 1961. Studies on the intercellular spaces in rice. I. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 29: 229-233.
- McDonald, M. P., Galwey, N. W., Colmer, T. D. 2001a. Waterlogging tolerance in the tribe Triticeae: the adventitious roots of *Critesion marimum* have a relatively high porosity and a barrier to radial oxygen loss. *Plant Cell Environ.* 24: 585-596.
- McDonald, M. P., Galwey, N. W., Colmer, T. D. 2002. Similarity and diversity in adventitious root anatomy as related to root aeration among a range of wetland and dryland grass species. *Plant Cell Environ.* 25: 441-451.
- McDonald, M. P., Galwey, N. W., Ellneskog-Staam, P., Colmer, T. D. 2001b. Evaluation of *Lophopyrum elongatum* as a source of genetic diversity to increase the waterlogging tolerance of hexaploid wheat (*Triticum aestivum*). *New Phytol.* 151: 369-380.
- Pedersen, O., Rich, S. M., Colmer, T. D. 2009. Surviving floods: leaf gas films improve O_2 and CO_2 exchange, root aeration, and growth of completely submerged rice. *Plant J.* 58: 147-156.
- Raskin, I. 1983. A method for measuring leaf volume, density, thickness, and internal gas volume. *Hortscience* 18: 698-699.
- Thomson, C. J., Armstrong, W., Waters, I., Greenway, H. 1990. Aerenchyma formation and associated oxygen movement in seminal and nodal roots of wheat. *Plant Cell Environ.* 13: 395-403.

菜根譚 野菜の根の話

中野明正

千葉大学 園芸学研究科, 学術研究・イノベーション推進機構

12. 臭わない根

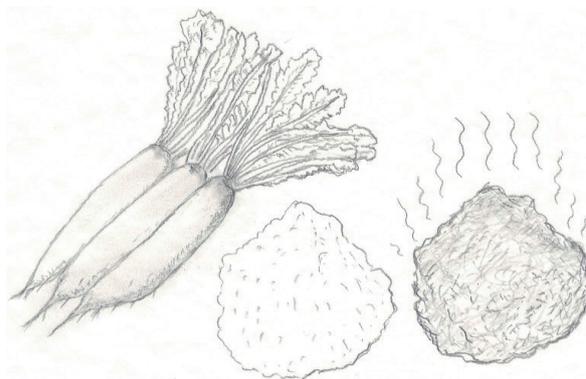
ダイコンは、かの古事記にも記載があり、日本でも古くから親しまれてきた野菜である。前回紹介した「桜島大根」など多様な品種が今も食卓をにぎわす。一方で、ご多聞にもれず、国内のダイコンの栽培面積は減少している。ダイコンは重量野菜に分類され、重いゆえに特に高齢農家にとっては収穫が大変である。それにも増して生鮮野菜として多くを食べなくなり、消費も振るわない。ダイコンの6割が加工・業務用途であり刺身のつまや大根おろしなど皆さん日々口にされているが沢庵は減少している。昔は沢庵漬でごはんを食べたものだが、コメの消費も振るわないこともあり、沢庵の消費はここ30年で8割減ったというから驚きである。私などは沢庵漬の匂いでご飯が進む方だが、何でも世の多くの若者？はその臭いが苦手だそう。そういえば、臭わない納豆も商品化され、カロリーゼロなどの商品は定着した。“無い”というのが価値になる時代である。加工用途の中では大根おろしの需要が伸びているが、ここでも着色（黄変）するのが問題となっている。これも色が“無い”＝“真っ白”というのに価値が生まれている。

このような、においや色に関与している物質が解明され、それを制御した品種が開発された。そのキーとなる物質はグルコラファサチンという物質である。これはアブラナ科植物に含まれる含硫配糖体で200種類

以上あるとされるグルコシノレート的一种である。グルコラファサチンはダイコンの細胞が壊れるとラファサチンへと変化する。このラファサチンがメタンチオール（いわゆる沢庵臭）や黄色の色素に変化するのである。つまり、その源流にあるグルコラファサチンの量を制御すれば臭いや着色を制御できるという戦略である。新たに育成された、臭わないそして白いままのダイコン「サラホホワイト」は、グルコラファサチンを含まない育種素材を活用して作られた。「サラホホワイト」はこの“無い”という特性を活かしてダイコンの新たな需要拡大につながることを期待されている。

参考文献

柿崎智博, 石田正彦 2020. においや変色が発生しないダイコン新品種の育成. NARO Technical Report 7: 6-9.



2021 年度 根研究学会総会報告

オンラインで開催された第 53 回根研究集会の一部として、6 月 6 日に定期総会を開催しました。福澤加里部会員に議長を務めて頂き、下記の通り、2020 年度の会務報告・決算報告・会計監査報告、2021 年度の事業計画・予算が承認されました。

1. 2020 年度 会務報告

1) 会誌『根の研究』第 29 巻を発行した。

(小川 敦史 編集委員長)

第 1 号 (2020 年 3 月発行) pp. 1 - 54 (54 頁)

第 2 号 (2020 年 6 月発行) pp. 55 - 64 (10 頁)

第 3 号 (2020 年 9 月発行) pp. 65 - 74 (10 頁)

第 4 号 (2020 年 12 月発行) pp. 75 - 118 (44 頁)

2) 研究集会

1 回の研究集会を開催した。第 51 回は新型コロナウイルス感染症拡大により中止、第 52 回はオンライン開催で受賞講演 4 題と特別講演 1 題が行われた。

・第 51 回根研究集会 (中止)

5 月 30 日 (土) ~ 31 日 (日)

於：信州大学

(長野県松本市)

実行委員長 牧田直樹会員

・第 52 回根研究集会 (オンライン集会)

11 月 21 日 (土) ~ 22 日 (日)

実行委員長 阿部淳会員

3) 2020 年度根研究学会賞

選考の結果、以下の業績を表彰した。

【学術功労賞】 1 件

受賞者：大門弘幸

(龍谷大学農学部)

業績：多様な作付体系におけるマメ科作物
固定窒素の動態解析と新たな栽培技
術への応用

【学術特別賞】 1 件

受賞者：池野英利

(兵庫県立大学環境人間学部)

業績：樹木の根系研究に対する情報技術の
導入

【学術奨励賞】 2 件

受賞者：馬場隆士

(農研機構・果樹茶業研究部門リンゴ研究領
域)

業績：ブルーベリーの細根系における異形

根性とエリコイド菌根性

受賞者：定政哲雄

(福井県農林水産部園芸振興課)

業績：養液栽培におけるトマトの接ぎ木の
多収化機構の解明

【学術論文賞】 1 件

受賞者：Yuka Kitomi, Atsushi Ogawa, Hidemi
Kitano, Yoshiaki Inukai

業績：「*CRL4* regulates crown root formation
through auxin transport in rice」 (Plant
Root 2: 19-28.)

【優秀発表賞】 3 件

受賞者：平野侑

(東京農業大学農学研究科)

業績：ボルネオ熱帯低地林におけ NP 施肥に
対する樹木細根ホスファターゼ活性
の種特異的応答

受賞者：江尻真斗

(福井県立大学院生物資源学研究科)

業績：硝酸態窒素量の低下がイネの酸素漏
出バリア形成のきっかけとなる

受賞者：谷吉和貴

(京都大学大学院農学研究科)

業績：根における水通導性と光合成の光応
答の関係

4) 国際誌 *Plant Root* の刊行

(野口享太郎 編集委員長ら)

<http://www.plantroot.org/>

第 14 巻として、4 の論文 (全 41 頁) を掲載し
た。受理後早期の掲載、並びに編集委員の負担
を軽減する目的で BIB 作成費を計上した。

5) 会誌以外の出版物・根研ロゴライセンス

「根の研究の最前線 7」および同シリーズのう
ち、在庫があるバックナンバーについては、引
き続き販売した (セット割りを適用)。使用料を
支払うことで根研ロゴを使用したグッズを自由
に製作することができるようにした。

6) 会員勧誘と費用節減対策

会員数は微減傾向にあり、会費収入は減少傾向にある。財政状況改善を目的として、印刷費・発送費削減を努力するとともに、学生や若手研究者の入会を促すため、根研究学会優秀発表賞、若手会員研修支援、研究集会参加費無料化の継続を行った。

2. 2020年度 決算報告

期間： 2020年1月1日－12月31日

1) 2020年度 一般会計

1.収入				単位：円
事項	予算	2020年度	予算との差額	
前年度繰越金	469,053	469,053	0	
会費未納分 ^{※1}	91,000	65,000	-26,000	
2020年会費 ^{※1}	449,000	345,000	-104,000	
2021年以降の会費前納分 ^{※1}	500,000	551,000	51,000	
寄付・雑収入(広告料,許諾料,利子) ^{※2}	17,000	106,401	89,401	
会誌改善費(特別会計から)	100,000	100,000	0	
合計	1,626,053	1,636,454	10,401	
2.支出				
事項	予算	2020年度	予算との差額	
会誌・名簿の製版・印刷費 ^{※3}	500,000	533,500	33,500	
会誌・名簿の送付費 ^{※4}	40,000	34,782	-5,218	
Plant Root BIB作成費 ^{※5}	70,000	30,800	-39,200	
事務局委託費・謝金 ^{※6}	363,000	356,400	-6,600	
事務通信費	15,000	9,380	-5,620	
事務用品費	2,000	110	-1,890	
研究集会経費	40,000	0	-40,000	
学会賞経費 ^{※7}	25,000	32,710	7,710	
サーバー使用料	27,000	27,120	120	
予備費 ^{※8}	50,000	65,602	15,602	
次年度繰越金	494,053	546,050	51,997	
合計	1,626,053	1,636,454	10,401	
繰越金を除く2020年の実収入	1,167,401			
繰越金を除く2020年の実支出	1,090,404			
繰越金を除く2020年の実質収支	76,997			

※1 年会費は電子版個人会員3,000円、冊子版(＋電子版)個人会員4,000円、冊子版団体会員9,000円。前納は、12月までに2021年度を納入した分など。

※1 2020年に納入された会費の内訳		合計	961,000
1) 未納分	2019年度以前	65,000	(3000×9)(4000×5)(9000×2)
2) 当年度分	2020年	345,000	(3000×68)(4000×33)(9000×1)
3) 前納分	2021年度以降	551,000	(3000×105)(4000×50)(9000×4)
※2 雑収入の内訳		合計	106,401
1) 広告収入(カクタス)		15,000	
2) 著作権使用料(EBSCO)		17,401	
3) 第52回大会収益金		74,000	
※3 会誌・名簿印刷費内訳(表紙を除いた頁数)		合計	533,500
1) 29巻第1号(54頁)		159,500	
2) 29巻第2号(10頁)		110,000	
4) 29巻第3号(10頁)		110,000	
5) 29巻第4号(44頁)		154,000	

※4 会誌・名簿発送費の内訳		合計	34,782
1) 28巻第4号		9,918	
2) 29巻第1号		8,568	
3) 29巻第2号		8,148	
4) 29巻第3号		8,148	

※メール便・郵便(新入会員及び再送費等含む) *メール便は翌月払

※5 Plant Root BIB作成費の内訳		合計	30,800
J-STAGE登載料(4件)		30,800	

※6 謝金の内訳		合計	356,400
1) 2020年事務委託費(株共立)		330,000	
2) 2020年HP管理費(株共立)		26,400	

※7 学会賞経費の内訳		合計	32,710
1) 賞状用紙		990	
2) 発送資材(梱包資材・レターパック)		1,890	
3) バーカー購入費		17,336	
4) 送料等		8,094	
5) 賞状作成代		4,400	

※8 予備費の内訳		合計	65,602
1) 監査交通費		1,000	
2) 会費請求書作製・送料		47,002	
3) 封筒作成代(長3封筒)		17,600	

2) 2020年度 特別会計

1.収入				単位：円
事項	予算	決算	予算との差額	
前年度繰越金	354,123	354,123		
出版物販売 ^{※1}	5,000	9,240	4,240	
寄付・雑収入(銀行利息等)	3,000	0	-3,000	
合計	362,123	363,363	1,240	
2.支出				
事項	予算	決算	予算との差額	
出版物(印刷費・製作費)	0	0	0	
「根の研究」デジタル化	0	0	0	
送料・手数料など	10,000	2,495	-7,505	
国際誌刊行経費(サーバーレンタル料)	23,000	22,440	-560	
会長裁量経費	100,000	0	-100,000	
会誌改善費(一般会計への補助)	100,000	100,000	0	
苅住基金運営維持費	0	0	0	
次年度への繰越金	129,123	238,428	109,305	
合計	362,123	363,363	1,240	
繰越金を除く2020年の実収入	9,240			
繰越金を除く2020年の実支出	124,935			
繰越金を除く2020年の実質収支	-115,695			

※1 出版物販売の内訳		合計	9,240
1) 根の研究の最前線売上(送料込)		9,240	
	1巻2冊・2巻2冊・3巻2冊		
	4巻2冊・5巻2冊・7巻2冊		

3) 2020年度 苜住基金

1.収入			
事項	予算	決算	予算との差額
前年度繰越金	155,926	155,926	0
特別会計繰入金	0	0	0
雑収入	0	0	0
合計	155,926	155,926	0

2.支出 ^{※1}			
事項	予算	決算	予算との差額
若手会員海外渡航支援	60,000	0	-60,000
送料・手数料	900	0	-900
次年度への繰越金	95,026	155,926	60,900
合計	155,926	155,926	0

※1 募集なし。

3. 2020年度会計の監査報告

2021年2月15日に、事務業務委託先の共立において、根研究学会監査の益守眞也会員に事務局業務担当者(共立の栗本さん)が説明を行い、会計監査をして頂いた。以下がその監査報告の写しである。

会計監査報告書

根研究会会則第9条に基づき、2020年度(2020年1月1日～12月31日)の会計監査を行った結果、適正に執行されていることを確認しました。

2021年 2月15日

監査 氏名 益守眞也

4. 2021年度事業計画

1) 会誌『根の研究』第30巻発行

(編集委員長：小川 敦史)

第1号(2021年3月発行) pp.1-26 (26頁)

第2号(2021年6月発行予定)

第3号(2021年9月発行予定)

第4号(2021年12月発行予定)

2) 研究集会等の開催

・第53回根研究集会(オンライン集会)

6月5日(土)～6日(日)

実行委員長 牧田直樹会員

・第54回根研究集会(現地開催もしくはオンライン開催)

開催日は未定

実行委員長 関谷信人会員

3) 2021年度根研究学会賞の公募・選考・授与

6月発行の会誌で告示し、7月に公募。第54回根研究集会において授賞。

これまでの受賞者について、他団体の賞への推薦も検討する。

4) 一般会計・特別会計による学会活動と会員の研究活動の支援(予算案を参照)

- ・国際誌 *Plant Root* 第15巻発行(編集委員長：野口享太郎)。投稿数・掲載数の増加に努める。
- ・根研ロゴ使用料による特別会計の増収を図るため、会員によるグッズ作製を促進する。

5) 根研究学会「苜住」海外渡航支援

根研究学会所属の若手会員(申請時の年齢が40歳以下)の国際的な活躍を支援するため、海外の学会等に参加して根に関する研究成果を公表したり調査に出向いたりするための渡航経費の一部を補助する。「第11回国際根研究学会シンポジウム」(オンライン開催)について参加・登録費を支援する(一般：\$150.00 USD, ポスドク：\$100.00 USD, 学生：\$50.00 USD, 最大5名まで)。

6) 会運営に関する問題

単年度収入の減少に対しては一層の節約に努めるとともに、運営の基盤となる会費を増やすため、根研究学会のチラシを用意し会員の増加をはかる(関連分野の学会・シンポジウム等で配布してもらう)。あわせて、助成金や広告料の取得に努める。印刷費に関しては、冊子版会員数に合わせて印刷する。

7) 出版

「根の研究の最前線7」およびバックナンバーの販売促進に努める。

その他、出版社等から、根の研究の発展や社会へのアピールに役立ちそうな出版の企画提案があれば協力する。

8) 他の学術関連団体などとの協力

- ・日本学術会議等
協力学術研究団体として、委員候補の推薦やアンケートなどの依頼があれば協力する。
- ・国際研究集会等

会誌への開催情報の掲載など、情報の伝達に協力する。

・その他

学術活動に関するアンケートなど、根の研究や日本の学術発展に有意義と思われる要請については、大きな負担のない範囲で協力する。他の学術団体からの共催、講師推薦等の要請に対しては、執行部・評議員で検討する。

9) その他

・2022-2023年度 根研究学会会長の選挙
会則第8条・10条・11条に基づき、来期の会長選挙を行う。立候補受付は7月30日までとし、10月に投票を行う。

5. 2021年度予算

期間：1月1日-12月31日

1) 2021年度 一般会計

2021年1月現在の会員数は、284名(海外含む)、団体6件。年会費は、電子版個人3,000円、冊子版(+電子版)個人4,000円、冊子版団体9,000円とする。

収入				単位 円
事項	予算	前年実績	前年との差額	
前年度繰越金	546,050	469,053	76,997	
会費未納分※1	104,000	65,000	39,000	
2021年会費※1	397,000	345,000	52,000	
2022年以降の会費前納分※1	550,000	551,000	-1,000	
寄付・雑収入※2	17,000	106,401	-89,401	
会誌改善費(特別会計から)	0	100,000	-100,000	
合計	1,614,050	1,636,454	-22,404	

支出				単位 円
事項	予算	前年実績	前年との差額	
会誌・名簿の製版・印刷費※3	600,000	533,500	66,500	
会誌・名簿の送付費※3	55,000	34,782	20,218	
Plant Root BIB作成費※4	70,000	30,800	39,200	
事務局委託費・謝金※5	363,000	356,400	6,600	
事務通信費	15,000	9,380	5,620	
事務用品費	2,000	110	1,890	
研究会会費	40,000	0	40,000	
学会賞経費※6	25,000	32,710	-7,710	
サーバー使用料	27,000	27,120	-120	
予備費	50,000	65,602	-15,602	
次年度への繰越金	367,050	546,050	-179,000	
合計	1,614,050	1,636,454	-22,404	

繰越金を除いた2021年の実収入 1,068,000円
繰越金を除いた2021年の実支出 1,247,000円
繰越金を除いた2021年の実質収支 -179,000円

- ※1 10月に次年度分の会費納入のお願いをするので、多額の前納分が発生し、当該年になってからのその年分の会費納入額は会員数×年会費より少ない、財源の安定化のためには、30名程度会員が増えることが望ましい。
- ※2 会誌広告・ホームページのバナー広告で収入を上げることが望ましい。
- ※3 会誌(全4号)の発行、名簿本年度に発行。
会誌の印刷費も、研究会要旨を半頁にする、会告の類を二段組みにするなどで頁数を削減している。
- ※4 7,000円/編、10編を予定している。
- ※5 事務局委託経費(年30万円+消費税10%)
ホームページ管理委託費(年3万円+消費税10%)
- ※6 3名程度の授賞を想定。受賞者が増えた場合は予備費等で対応する。

2) 2021年度 特別会計

収入				単位:円
事項	予算	前年実績	前年との差額	
前年度繰越金	238,428	354,123	-115,695	
出版物販売※1	5,000	9,240	-4,240	
寄付・雑収入(利息等)※2,3	3,000	0	3,000	
合計	246,428	363,363	-116,935	

支出				単位:円
事項	予算	前年実績	前年との差額	
出版物(印刷・製作費)	0	0	0	
「根の研究」デジタル化※4	0	0	0	
送料・手数料など	10,000	2,495	7,505	
国際誌刊行経費	23,000	22,440	560	
会長裁量経費	100,000	0	100,000	
会誌改善費(一般会計へ)	0	100,000	-100,000	
苅住基金運営維持費	0	0	0	
次年度への繰越金	113,428	238,428	-125,000	
合計	246,428	363,363	-116,935	

繰越金を除く2021年の実収入 8,000円
繰越金を除く2021年の実支出 133,000円
繰越金を除く2021年度の実質収支 -125,000円
(会長裁量経費100,000円を使わずにすれば、赤字は縮小)

- ※1 「根の研究の最前線7」を中心に販売予定。
- ※2 根研ロゴ使用料(1製品につき300円)。
- ※3 銀行口座利息。
- ※4 論文以外のコンテンツも含めた画像PDF化委託費。

3) 2021年度 苅住基金

収入				単位:円
事項	予算	前年実績	前年との差額	
前年度繰越金	155,926	155,926	0	
特別会計繰入金	0	0	0	
雑収入	0	0	0	
合計	155,926	155,926	0	

支出				単位:円
事項	予算	前年実績	前年との差額	
若手会員旅費支援	75,000	0	75,000	
送料・手数料	1,500	0	1,500	
次年度への繰越金	79,426	155,926	-76,500	
合計	155,926	155,926	0	

第11回国際根研究学会シンポジウム5名を予定。

以上の3会計は、2022年2月頃に会計監査を実施予定。

6. 根研究学会会則の改定

2021年6月6日改定

総則

第11条 役員任期は、2年とする。任期途中で役員交代があった場合、後任者の任期は前任者の残余の任期とする。会長、副会長、監査、事務局長、副事務局長の各役職は連続して5年以上は重任できない。

第13条 本会の会則は、1992年1月1日より施行され、2022年1月1日より現行の改定版の会則が適用される。

7. その他

根研ロゴ使用料値下げの提案に対して、執行部で協議を行うことにした。

以上

Root Research 根の研究

編集委員長	小川 敦史	秋田県立大学生物資源科学部
副編集委員長	中野 明正	千葉大学
	福澤加里部	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
編集委員	岩崎 光徳	農研機構・果樹茶業研究部門
	宇賀 優作	農研機構・次世代作物開発研究センター
	亀岡 笑	酪農学園大学循環農学類
	唐澤 敏彦	農研機構・中央農業研究センター
	神山 拓也	宇都宮大学農学部
	辻 博之	農研機構・北海道農業研究センター
	仲田(狩野)麻奈	名古屋大学大学院生命農学研究科
	松波 麻耶	岩手大学農学部
	松村 篤	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
	南 基泰	中部大学応用生物学部
	森 茂太	山形大学農学部
	山崎 篤	農研機構・九州沖縄農業研究センター

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 : neken2021@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

年会費 電子版個人 3,000 円, 冊子版 (+ 電子版) 個人 4,000 円, 冊子版団体 9,000 円

根の研究 第 30 巻 第 2 号 2021 年 6 月 15 日印刷 2021 年 6 月 20 日発行
発行人: 平野恭弘 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
名古屋大学大学院環境学研究科
印刷所: 株式会社共立 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

Root Research

Japanese Society for Root Research

Original Paper

Effect of sick soil inoculation on 'Masui Dauphine' fig cutting grown in root box

Akihiro Hosomi 29

Technical Note

Root fresh weight measurement for rice root system

—A proposal for a simple dewatering method of fresh paddy roots using a vegetable drainer

Emi Kameoka, Hinaki Yoshino, Hiroataka Suzuki and Yuki Ohmi 33

Education

Measurement of plant tissue porosity: II. Archimedes method

Tomoki Miyashita, Masato Ejiri, Satoshi Shimamura, Takaki Yamauchi and Katsuhiko Shiono 41