

第22回根研究集会発表要旨

2005年7月2日 (土)

北海道農業研究センター

一般発表

樹木の根系における形態形成と用土の関係

錦織正智 (北海道立林業試験場)

さし木接ぎによるチャの根系形態・枝条形態におよぼす品種特性の影響調査

松尾喜義・荒木琢也・佐波哲次 (野菜茶業研究所)

チャノキの不定根の成長パターンと花芽の形成にジベレリンが働いている

谷本英一¹・本間知夫²・阿部淳³・森田茂紀³・松尾喜義⁴・A. Lux⁵・M. Luxova⁶・稲永忍⁷

(¹名古屋市大・院, ²千葉科学大, ³東京大・院, ⁴野菜茶業研究所, ⁵Comenius Univ,

⁶Inst. Bot. Slovak Acad. Sci., ⁷国際農産研)

エンドウ主根切除による異型側根の形成

仁木輝緒¹・高橋三男² (¹拓殖大・工, ²東京高専・物質工)

根の界面制御による発根促進メカニズム

亀井昌敏¹・鈴木忠幸¹・大橋 (兼子) 敬子²・蔵田憲次²

(¹花王株式会社, ²東京大学大学院農学生命科学研究科)

湛水条件下のヘチマ不定根に形成される皮層細胞間隙について

島村聡¹・吉田敏²・望月俊宏³

(¹作物研究所, ²九州大学生物環境調節センター, ³九州大学大学院農学研究院)

根系識別のための染色法

村上敏文¹・島野智之²・三好孝和¹・中嶋美幸¹・金田哲³・浦嶋泰文¹

(¹東北農業研究センター, ²宮城教育大学, ³学術振興会特別研究員)

ラッカセイの根粒サイズとアセチレン還元活性で評価した窒素固定能力との関係

田島亮介¹・李温裕^{1,2}・Alexander Lux^{1,3}・阿部淳¹・森田茂紀¹

(¹東大院農生命, ²東大アジア生物資源環境研究センター, ³コメニウス大学)

キマメとセスパニアはいかにして地下水を利用し乾燥ストレスを回避するのか?

関谷信人¹・荒木英樹² (¹名古屋大学大学院生命農学研究科, ²山口大学農学部附属農場)

国内コムギ品種における根の貫通力と伸長角度の関係

久保堅司¹・三熊敏弥²・小柳敦史¹・岩間和人³

(¹東北農業研究センター, ²東京大学大学院農学生命科学研究科, ³北海道大学大学院農学研究科)

根の接地インピーダンスの日変化測定

山浦逸雄・上條岳穂・田中京子・矢嶋征雄 (信州大学繊維学部)

ポスター発表

Iron (Fe) tolerance of elite breeding lines developed at IRRI in relation to translocation of Fe from rice roots to shoot

Takuhito Nozoe^{1,2}, Ruth Agbisit¹, Yoshimichi Fukuta¹, Reynaldo Rodriguez¹, and Seiji Yanagihara¹

(¹International Rice Research Institute (IRRI), ²present address: National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Japan)

Growth inhibition by Cd and alleviative effects of Si in maize and sorghum seedlings

Alexander Lux^{1,2}, Satsuki Kodama², Jun Abe² and Shigenori Morita²

(¹Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava,

²Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)

水稲の玄米外観品質の形成に根はどのような役割を果たすのか?

～玄米外観品質と出液速度の品種間差異～

大橋 善之 (京都府丹後農業研究所)

キャベツ品種の施肥窒素水準に対する生育・窒素吸収応答

菊地 直・村上 弘治 (野菜茶業研究所)

堆肥成型ポットによるキャベツ栽培と根の発達

竹中 眞¹、高島 晃²、加藤邦彦³

(¹中央農業総合研究センター,²環境資源応用技術開発研究所,³北海道農業研究センター)

アーバスキュラー菌根の共生強度とダイズの各種元素吸収との関連性

鈴木弘行¹・村松雅子²・熊谷宏¹・野川憲夫³・坂本一憲²・犬伏和之²

(¹千葉大学大学院薬学研究院・RI 実験施設,²千葉大学園芸学部,³東京大学 RI センター)

土壌環境がダイズの発芽・発根と根粒着生との関係に及ぼす影響—土壌水分との関連性—

白木一英 (北海道農業研究センター)

高 CO₂ 濃度環境下における水稻根の発生・枯死と出液速度

長谷部寛¹・小林和彦¹・阿部 淳¹・森田茂紀¹・林 彦宏¹・岡田益己²・Md. Mozammel Hoque²・
長谷川利拡³

(¹東京大学大学院農学生命科学研究科,²東北農業研究センター,³農業環境技術研究所)

樹根接地インピーダンスの日変化について

上條岳穂, 田中京子, 矢嶋征雄, 山浦逸雄 (信州大学 繊維学部)

Root Response and Water Relations under Water Stress and Mechanical Impedance in Rainfed Lowland Rice

Siopongco, J. DLC.¹, Sekiya, K.², Yamauchi, A.², Egdane, J.¹, Ismail, A. M.¹
and Wade, L. J.³

(¹International Rice Research Institute,²Nagoya University,³ University of Western Australia)

イネ冠根欠損型突然変異体, *cr11*, を用いた地上部—地下部成長関係の解析

西川浩人¹・尾崎祐朗¹・北野英己²・犬飼義明¹

(¹名大院 生命農学,²名大 生物機能開発利用研究センター)

バスケット法を用いた根の伸長角度が異なるコムギ品種のスクリーニング

小柳敦史¹・小林浩幸¹・村中 聡² (¹東北農業研究センター,²ITA)

イネ・コアコレクションを用いた根組織構造の形態変異に関連する染色体領域の検出

宇賀優作¹・江花薫子¹・福岡修一¹・河 眞琴¹・阿部淳²・森田茂紀²・奥野員敏¹

(¹農業生物資源研究所ジーンバンク,²東京大学大学院農学生命科学研究科)

Genotypic variation in growth and porosity development in rice roots
grown under well aerated and stagnant water cultures

Roel R. Suralta, Yoshiaki Inukai and Akira Yamauchi

(Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University)

Genotypic variation of rice root development in response to temporal fluctuation of water
conditions

Hong Wang^{1,2}, Yoshiaki Inukai² and Akira Yamauchi²

(¹Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences,²Graduate
School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University)

報 告 (第22回根研究集会発表要旨)

樹木の根系における形態形成と用土の関係

錦織正智

北海道立林業試験場 (nishiki@hfri.bibai.hokkaido.jp)

根系の形態形成は用土の種類に応じて変化する。そこで本研究では、根の形態形成と用土の関係を定量的に明らかにすることを目的として、コンピュータ画像解析を用いて検討をおこなった。

〔材料及び方法〕

材料には組織培養で増殖させたナナカマド (*Sorbus commixta*) の不定芽を用いた。不定芽はホルモンのフリーの寒天培地に植えて、その後不定芽の基部に根原基が分化した直後にバーミキュライト、ピートモス、鹿沼土および、これらを 1:1 (v:v) で混合したものに移植して養成した。養成後は、根系の長さ、表面積、体積、乾物重およびフラクタル次元を測定した。この際、乾物重を除く 4 形質はスキャナー (300dpi) によりコンピュータへ取り込んで画像解析から求めた。根長等は NIH Image を用いてマクロプログラム ROOT Length 1.63 (K. Kimura and S. Yamasaki 2003) から求め、フラクタル次元の計算には解析ソフト BENOIT 1.3 (TruSoft International Inc.) を使用した。

〔結果及び考察〕

測定値の主成分分析において、第一主成分では因子負荷量が生長量に関わる 4 形質 (長さ、表面積、体積、乾物重) が大きな値を呈したことから (表-1)、生長量の総合的指標と解釈できた。また第二主成分ではフラクタル次元と長さ/乾物重が大きい値を呈したことから、形態に関わる指標と解釈できた。このように生長量と形態に関わる要因が異なる 2 つの指標へ分類されたことから、根系の形態形成過程において生長量の増加と形態の変化は独立した関係であると考えることができた。また主成分得点の関係 (図-1) からは、混合用土区における値はいずれも混合した 2 種類の用土を結ぶ直線の近傍に位置する結果となり、根系の形態形成は 2 種類の用土を混合した場合においても用いた用土を反映することが推察できた。

表-1 主成分分析における因子負荷量

測定形質	第一主成分	第二主成分
長さ	0.96	0.22
表面積	0.97	-0.12
体積	0.99	-0.05
乾物重	1.00	-0.02
フラクタル次元	0.50	0.81
長さ/乾物重	-0.58	0.75

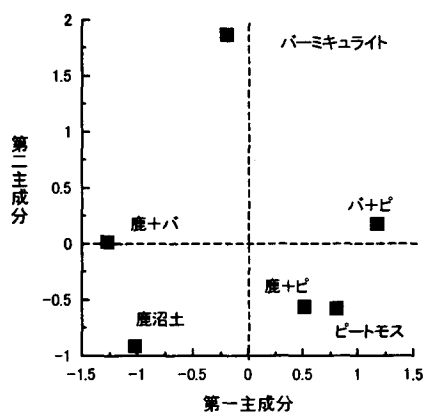


図-1 第一主成分と第二主成分の主成分得点の関係

バ：バーミキュライト，ピ：ピートモス，
鹿：鹿沼土

引用文献

K. Kimura and S. Yamasaki, Accurate root length and diameter measurement using NIH Image: Use of Pythagorean distance for diameter estimation, *Plant and Soil* 254 305 - 315 (2003)

さし木接ぎによるチャの根系形態・枝条形態におよぼす品種特性の影響調査
松尾喜義・荒木琢也・佐波哲次(野菜茶業研究所,matuok@affrc.go.jp)

チャの「さし木接ぎ」技術は、挿し穂の状態での接ぎ木を行う方法(図)で、良好な新芽品質を示すものの地下部生育が不良で「立ち枯れ」を起こしやすい品種を、頑健な地下部を持つ品種の台木に接ぎ木して生育を改善する目的で青野らによって茶樹への適用が検討されてきた経緯がある。

先の第21回根研究集会では、地上部枝条形態への地下部品種の影響を報告したが、その後、全株の掘取り調査を行い、地下部の根系形態におよぼす地上部品種の影響などを検討したので報告する。

＜材料と方法＞

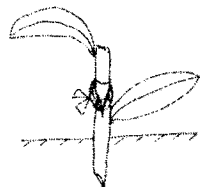
前報と同じく供試茶園は、表に示した6通りの組み合わせでさし木接ぎされた茶園である。2004年12月下旬に重機(バックホウ)を用いてすべての茶株を掘り上げ、風乾後付着した土壌を払い落として根株から伸長している木化根の太さ別発生本数などを調査した(各つぎ木組み合わせにつき20個体を調査)。

＜結果と考察＞

枝条構成のうち地際から発生する太枝の太さ別本数は、「ふじみどり」が台木の「やぶきた」でいくぶん太い個体が多く、前報で報告したように地下部品種によって地上部枝条の生育に影響を受けると見られた。一方、木化根については、「やぶきた」ではφ0.5cm以下の細かい木化根が多いことは地上部品種にかかわらず認められた。また、「ふじみどり」Z1を地上部に持った「やぶきた」根ではφ1~2cmの木化根がわずかに多い傾向にあった。「やぶきた」を地上部にもつ「Z1」の地下部は、地上部が「Z1」と比べて細い根が多かった。さらに木化根の不定芽から出た枝条(「彦生え」と表記)の徒長枝が出やすい品種の組み合わせは「やぶきた」/「Z1」であった。

以上、さし木接ぎ茶樹の解析から、茶樹の地下部と地上部は相互に影響し合っており品種に特徴的な形態を示すことが明らかになり、今後より環境適応性に優れた茶樹品種を開発するためには、地下部の示す特性に着目することが重要と考えられた。

＜謝辞＞茶園育成と茶樹掘り取りに尽力いただいた野茶研金谷茶業研究拠点の作業技術研究室関係者と業務科職員にお礼申し上げます。



図、さし木接ぎ



やぶきた / Z1 やぶきた/やぶきた やぶきた/ふじみどり

表、さし木接ぎの枝条と木化根におよぼす品種の影響

品種組み合わせ 地上部品種/地下部品種	地際太枝本数				木化根の本数					根部から「彦生え」茎の出現本数
	φ5cm>	φ3-5	φ2-3	φ1-2	φ3cm>	φ2-3	φ1-2	φ0.5-1	φ0.2-0.5	
① Z1 / やぶきた	0.2	0.9	0.5	0.5	0.8	1.6	4.2	5.1	9.4	1.8
② やぶきた / Z1	0	1.2	0.3	0.9	0.5	1.7	3.3	2.4	5.7	3.6
③ ふじみどり / やぶきた	0.5	0.9	0.2	0.2	0.4	2.2	4.4	4.9	11.7	0.7
④ やぶきた / ふじみどり	0.7	0.5	0.3	0.3	1.0	2.5	3.3	3.3	6.3	0.5
⑤ Z1 / Z1	0	1.1	1.2	0.7	0.7	2.9	3.8	4.7	8.5	1.5
⑥ やぶきた / やぶきた	0	0.7	1.0	1.0	0.5	2.2	3.3	4.5	11.0	1.0

注) データは1株あたり本数で示す。太さ区分はcm単位で、根は根株から3cmはなれた位置での太さ、太枝は地際で調査した。「彦生え」とは木化根から発生した不定芽から伸長した枝条を意味する。

チャノキの不定根の成長パターンと花芽の形成にジベレリンが働いている

*谷本英一¹・本間知夫²・阿部淳³・森田茂紀³・松尾喜義⁴・A.Lux⁵・M.Luxova⁶・稲永忍⁷¹名古屋市大・院, ²千葉科学大, ³東京大・院, ⁴野菜茶業研究所, ⁵Comenius Univ,⁶Inst. Bot. Slovak Acad. Sci., ⁷国際農産研

(*連絡先 E-mail: tanimoto@nsc.nagoya-cu.ac.jp)

チャノキ不定根の成長は挿し木増殖や茶の生産性にも重要な影響を与える。土壌中では、屈曲と分枝を繰り返して複雑な根系を形成するが(Matsuo, ISRR 2001, 松尾 「こんな根どうだね」, 根の研究13巻(4) 157-158, 2004 参照), 機械的刺激的の少ないミス耕では典型的な頂芽優勢による逆三角錐型根系を形成する(Homma & Saba 2002)。[根の研究14巻(1) 15-16, 2005 写真参照]。水耕栽培では、両者の中間的形態を示し、ある程度の頂芽優勢を保ちながら、水耕器の形状などに依存した形態をとる。木本の根は木化して乾燥や機械的ストレスに早く抵抗できる性質がある。本研究では、木化への齢の進行と根の成長制御の関係を調査するため、前述のチャノキの水耕栽培系を利用して主に細胞壁の化学的・物理的性質を解析した。

水耕栽培によって誘導した根の先端部伸長帯を、細胞と組織の形態、細胞壁の伸展性、細胞壁の化学組成、および、細胞壁の組織化学的性質等について調査した結果を報告する。

根系の形成に対するジベレリン(GA)の役割

チャノキの地上器官に対すGA作用の研究は既にいくつかの報告があるが、根の成長に関してはほとんど見あたらない。さらに、レタスやエンドウなどで発見されたような、GAの合成阻害剤で、成長が極度に抑制された状態での研究もなく、GAの働きを明瞭に示す証拠は得られていない。本研究によって、すでにエンドウやレタスで証明されたGAの役割が、水耕栽培されたチャノキの不定根でも確認された。即ち、GAは長軸方向の伸長成長を促進し、放射方向の肥大を抑制する。結果として、GA処理根は根系全体が細くなる。また、主軸根の根端から側根の発生が見られるまでの距離が長くなり、側根の密度も低下する。このような伸長成長制御と平行して、細胞壁へのスベリンの沈着がGAにより抑制されていることが観察された。これは、GAが単に肥大を抑制して伸長を促進しているだけでなく細胞壁の化学成分の変化を伴う加齢を抑制していることを示している。

苗条の伸長と開花におけるジベレリンの役割

GAの栄養成長と生殖成長(花芽誘導)に対する効果は、シロイヌナズナのようなロゼット植物(春抽臺して開花する植物)で顕著であり、GAのシグナルが花芽形成を促進することが知られている。一方、短日性植物では、GAの役割は明瞭ではない。チャノキは弱い短日性を示すが、4月~7月にかけての圃場散布試験では、GAは抑制的に、GA合成阻害剤は促進的に働くことが知られている(武田, 農水技術会議報告1996)。我々の水耕栽培では、連続光照射下で、GA合成阻害剤は、全ての新しい芽を花芽に変化させる強い花芽誘導作用を示した。また、GAは茎の伸長を促進し、阻害剤による花芽誘導を完全に抑制した。誘導された花芽は、形態的に正常な花へと成長した。また、花芽の成長・開花はGA投与によって早まった。GA合成阻害剤による花芽誘導とGAによる開花促進は、交配の効率化に有用かもしれない。

本発表は、植物学会(2004)、O-Cha symposium(2004)、Biologia(2004)、植物生理学会(2005)などでの発表を要約したものである。

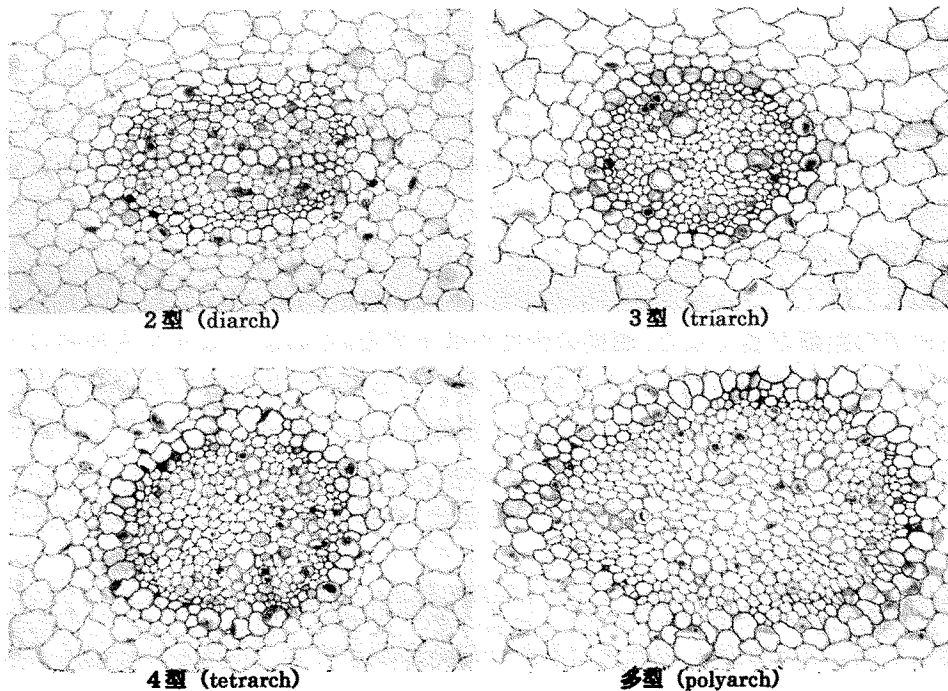
エンドウ主根切除による異型側根の形成

仁木輝緒 (拓殖大・工) 高橋三男 (東京高専・物質工)

Reihman and Rost(1990)はエンドウ幼少根を用いて先端から 250~5000 μ m の位置で切除したとき、切除部位から生じる再生根 (regeneration) の木部・篩部の数の変異を報告している。それによると、エンドウの木部・篩部の基本型は 3 型 (triarch) であるが、2 型 (diarch)、4 型 (tetrarch) を示す再生根も生じることを示している。

この観察は根の先端切除部位に於ける再生根での観察であり、(真性)側根に於ける木部・篩部の構造観察はしていない。木部・篩部の形成は遺伝的に決められているのであるが、植物ホルモン (主としてオーキシン、カイネチン) によっても異常形態が生じるので、可塑性 (変異) の高い器官と考えられる。しかし、このことに焦点をあてた研究は少ない。本研究は先端 1 cm の部位で切除したときの側根 (新たに形成される側根をも含め) の木部・篩部の数を調べたものである。

アラスカエンドウ (*Pisum sativum* cv. Alaska) を播種 3 日目または 4 日目、それぞれ 4 ± 0.5 cm、 10.5 ± 1.0 cm に成長した根の先端 1.0 cm 部位で先端を切除した。その後さらに生育させ約 10 日後側根を切り取り、グルタルアルデヒド、パラホルムアルデヒドの混合液にて固定を行い、プラスチック樹脂に包埋し、切片作成をし、顕微鏡観察を行った。観察結果は下図に示すように、木部・篩部の基本形が 2 型、3 型、4 型を示す側根が観察された。



本研究では、すでに側根原基が形成され分化が終了して生育した側根と切除後に新たに新生された側根とを区別をせずに観察を行った。木部・篩部の 2 型、3 型、4 型の形成割合も調べたが、切除時期が早い方の根 (3 日目) が、また切除部に近い方 (部位) がより高い変異を示し、木部・篩部の数の高い変異性が示されていた。

参考論文

Reihman, M. and T.L. Rost. 1990. Regeneration responses in pea roots after tip excision at different levels. *American Journal of Botany*. 77:1159-1167.

根の界面制御による発根促進メカニズム

亀井昌敏^{1*}・鈴木忠幸¹・大橋 (兼子) 敬子²・蔵田憲次²(1: 花王株式会社 和歌山市湊 1334 *kamei.masatoshi@kao.co.jp)

2: 東京大学大学院農学生命科学研究科)

弊社では、アグロケミカル研究において、環境保全と食糧増産を目的とした植物活力剤の開発を行っている。高級脂肪族アルコールを界面活性剤で乳化し根に施用することで、根の界面を制御 (吸着) することにより、様々な植物において、植物の生育促進、肥料吸収促進、光合成速度を向上させる効果が得られることがわかっている (園学雑 68 (別 2) 303-304、日作紀 70 88-91)。そこで本報ではそのメカニズムを解明するため、植物検体として幼苗期のトマトを用い、ステアリルアルコール (C₁₈H₃₅O₂H: 以下 C180H と略す) による根への吸着特性、それに伴う吸水量低下や水ポテンシャル、生育促進との関係を明らかにした。

【材料と方法】

【実験 1: 発根の観察】

植物体は播種後 20 日前後の 2 葉期のトマト (品種: 桃太郎) を用いた。丁寧に流水で根の土を洗い流し、1 日吸水後、照度 5000lux、明/暗周期 16hr/8hr、温度 23°C、湿度 50% の生育条件において、無肥料系で水道水 (BL)、各濃度の C180H における水耕栽培を行い、根の状態をタイムラプス (SONY SVT-5000) 及びマイクロSCOPE (キーエンス VH-6200) により経時的に観察した。

【実験 2: 吸着解析】

実験 1 の栽培方法において、C180H の根への吸着量を経時的に測定した。C180H の定量はクロロホルムで抽出した後、GC (Agilent Technologies DB1 column) 及び LC/ESI-MS 法 (HPLC: HP1100, MS: Agilent SL) により測定した。C180H の根表面吸着状態は TOF-SIMS 法 (ION-TOF 製 TOF-SIMS IV) により解析した。

【実験 3: 吸水量解析】

実験 1 の栽培方法において、全体重量を毎日測定し、吸水量 (蒸散量) を簡易的に求めた。水道水 (BL) 及び各濃度の C180H、NaCl 栽培系における吸水量を比較した。また吸水状態を色素 (コンゴレッド) 溶液を吸水させることで、マイクロSCOPE により観察した。

【実験 4: 水ポテンシャル解析】

実験 1 の栽培方法において、水道水 (BL)、各濃度の C180H 及び NaCl 栽培系における根及び葉の水ポテンシャルを水ポテンシャル計 (DECAGON TruPsi) で測定した。

【結果及び考察】

水耕栽培において、C180H を処理することで 2 日目より発根を促進し、根の伸長も促進した。根の表面に C180H と思われる粒子が吸着し、毛細根の発達が発達であった (実験 1)。C180H は根の表面を覆うように吸着し、一部は根の内部 (皮層) にも存在する可能性が示唆された。しかし、地上部への移行は観察されず、根への吸着が生育効果に重要な働きを与えることが推察された (実験 2)。吸水量 (蒸散量) を測定した結果、C180H の根への吸着により、吸水量が BL に比べ徐々に低下し、吸水量の低下が最大 50% 前後になる条件で C180H を吸着させた場合、試験開始 2 週間後の地下部生育向上効果が最大 (水道水に比較し 160%) となった。色素 (コンゴレッド) 溶液を吸水させた場合、C180H 系は導管の色素の流れが減少し、吸水が抑制されている可能性が示唆された。NaCl により水ストレスを与え吸水量を低下させても、C180H 系のような地下部生育向上効果はほとんど得られなかった (実験 3)。C180H 及び NaCl により吸水量を低下させた場合の根及び葉の水ポテンシャルを測定した結果、NaCl 系は吸水量低下に伴い、根及び葉の水ポテンシャルは低下したが、C180H 系は根及び葉の水ポテンシャルはほとんど変化しなかった (実験 4)。これは、NaCl 系の場合、NaCl 溶液の水ポテンシャルが低いことから、吸水を維持するために、植物は根や葉の水ポテンシャルを低下させる戦略をとるが、C180H 系の場合、C180H 液は水ポテンシャルが変化しないため、植物は根や葉の水ポテンシャルを変化させる必要がなく、発根や根の伸長、毛細根の発達により吸水量を維持する戦略をとるのではないかと推察された。

湛水条件下のヘチマ不定根に形成される皮層細胞間隙について

島村聡¹⁾ * · 吉田敏²⁾ · 望月俊宏³⁾

1) 作物研究所 · 2) 九州大学生物環境調節センター · 3) 九州大学大学院農学研究院

(*E-mail:shimamu@affrc.go.jp)

湿生植物には通気組織(細胞間隙が連続的に形成された空隙)が形成され、大気中の酸素や光合成で生じた酸素が地下部組織に供給されるため、過湿条件下でも良好な生育をするのに対し、畑作物などの陸生植物には通気組織が形成されにくいいため、耐湿性が弱いものと考えられている。その一方で、畑作物のトウモロコシ、コムギおよびダイズなどの根にも湛水条件下で通気組織が形成され、耐湿性と関連のあることが報告されている。

ところで、ヘチマ *Luffa cylindrica* Roem. は東南アジア原産で、熱帯から亜熱帯にかけて広く分布しているウリ科の一年生草本である。本種は畑作蔬菜類であるが、湛水条件下で栽培すると不定根の皮層に特異な細胞間隙を形成することを見いだした。そこで本研究では、湛水条件下においてヘチマ不定根に形成されるこの皮層細胞間隙の組織・形態学的観察を行った。

【材料と方法】

ヘチマ (*Luffa cylindrica* Roem.) 長果種(長ヘチマ)を供試し、グロースチャンバー内(14時間日長、25℃恒温)で実験を行った。畑土(淡色黒ボク土)を充填したプラスチックポット(直径 11cm、高さ 14cm)に催芽種子を播種し、2cm の覆土を行った。1ポット1本立てとし、播種後16日目に灌水(対照区)および湛水区の2区を設けた。対照区では必要に応じて適宜灌水を行い、湛水区ではポットを水を張った4L容器(容器当たり1ポット)に移し、水位を土壌表面上1~2cmに保った。処理開始後16日目に不定根を採取し、プラントミクロトーム(MTH-1, 日本医化器械製作所)で横断切片を作成し、トルイジンブルーOで染色後に検鏡した。また、細胞間隙の発達程度を評価するためにピクノメーター(比重瓶)を用いて空隙率を測定した。

【結果と考察】

1. 対照区では細い分枝根が多数発生し、分枝根主体の根系が形成された。また、胚軸や主根の皮層に細胞間隙は観察されなかった。一方、湛水区では処理開始直後から不定根が発根、伸長し、16日目には太く白い不定根主体の根系が形成された。胚軸や不定根の皮層には細胞間隙が形成されたのに対して、主根には形成されなかった。
2. 湛水区の不定根における細胞間隙の形成過程を見ると、まず表皮近傍の皮層細胞が放射方向に伸長、その後伸長した細胞に接する中心柱側の細胞が伸長し、この過程を繰り返して細胞間隙が発達した。この伸長細胞は撥水性軟質海綿状の性質を持っていた。
3. 湛水条件下の不定根において、根端から0~3cm間の先端部では細胞間隙が未発達な部位が多いため、空隙率は10%程度であったが、基部に向かうに従って細胞間隙が良く発達し、根端から3~6cm間では30%、6~9cm間では40%程度であった。
4. 本研究ではヘチマに限った観察であることから、不定根の皮層細胞間隙の形成にはウリ科のなかに種間差があるのか、また今回観察されたヘチマの細胞間隙が、湛水ストレスに対する適応反応であるかについては今後検討すべき課題である。また、現在までの報告では、ヘチマに類似した皮層細胞間隙を形成する植物は、アカバナ科チョウジタデ属(湿生植物のチョウジタデやミズキンバイなど)に限られるようなので、植物分類学的にも興味深い。

根系識別のための染色法

★村上敏文・島野智之*・三好孝和・中嶋美幸・金田哲**・浦嶋泰文

東北農業研究センター、*宮城教育大学、**学術振興会特別研究員

(〒960-2156 福島市荒井字原宿南 50 TEL 024-593-6176 ★E-mail durian@affrc.go.jp)

土壌中に展開する複数の根系を識別し、位置関係を特定できれば、施肥位置の改善や混作での効率的な栽培技術が開発できる可能性がある。著者らは、前報で隣接する株の根系を識別する生体染色法を報告した。しかし、小型ポットのみでの試験であり、大型ポットでの、定量的な根分布の検討は行っていない。また、双子葉植物では問題なく染色ができたが、単子葉植物では葉鞘の隙間から液漏れが起こり、うまく染色ができなかった。そこで、本報告では大型ポットにおける隣接するトマトの根の分布の状況と、単子葉植物根の染色のための改良について報告する。

【方法】

図 1 に示す染色システムを用いた。トマト (桃太郎) を 10cm ポリポットで栽培し、播種後 49 日目に株間 25cm で大型発泡スチロール箱に 2 本植えた。107 日目に地上部が萎凋する程度に土壌を乾燥させ、地際から 4cm の位置で切除した。茎に 50mL ピペットを接続し、赤と青の切り花着色液 (ファンタジー、パレス化学) を入れ、1.5 気圧の圧力をかけて根に注入した。染色終了後、土壌を縦 8×横 7.5×高さ 19cm のブロックに切り分けて採取し、根を色別に回収した。染色時間は 40 時間で、消費液量は 100mL であった。

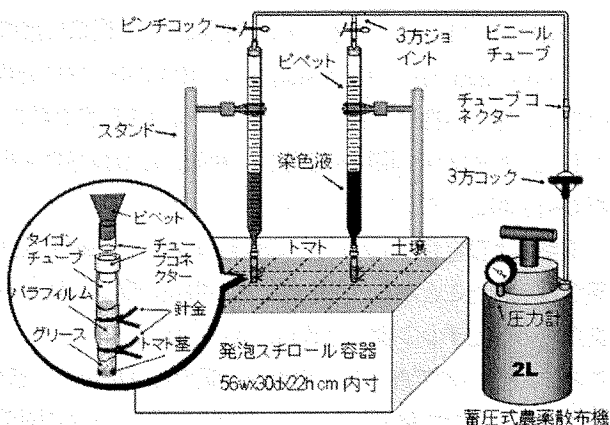


図 1 根の染色システム

単子葉植物の代表として 12cm ポットで栽培したトウモロコシを用い、水で硬化を開始させた直後の樹脂 (トマック NS-10、土壌モノリス作成用) を葉鞘の付け根部分に塗り、60 分放置して完全に硬化させ、上記と同様な方法で染色を行った。

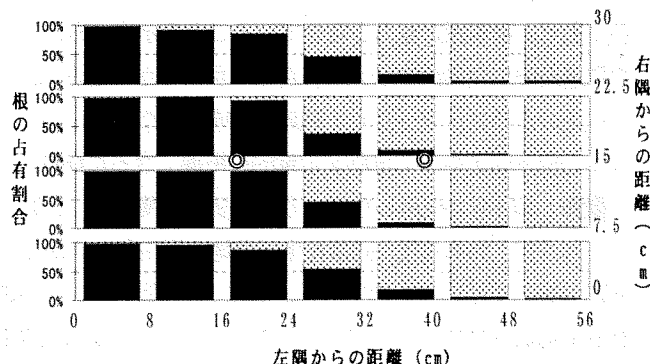
【結果と考察】

図 2 に示すように、双方の株の根重は、株位置の中間地点では、おおよそ均衡していた。しかし、それぞれの株近くでは、その株の根がほとんどの割合を占めていた。

トウモロコシでは、染色液の漏れがなくなり根が染められた。他の単子葉植物でもこの方法を用いて染色できると思われる。

図 2 2 株の根の各土壌ブロックでの重量割合 (2 連の平均値)

黒は左の株の根、網かけは右の株の根を表す。◎は株位置。2 連の 4 株の平均根長及び標準偏差は 1514±45m、平均根重は 4.6±0.3g でよく揃っていた。



ラッカセイの根粒サイズとアセチレン還元活性で評価した窒素固定能力との関係

田島亮介^{1*}, 李温裕^{1,2}, Alexander Lux^{1,3}, 阿部淳¹, 森田茂紀¹

¹東大院農生命 ²東大アジア生物資源環境研究センター ³コメニウス大学

(*連絡先 e-mail: lazy@fm.a.u-tokyo.ac.jp)

マメ科作物の窒素固定能力を効率的に制御して利用するためには、根系形成を踏まえて、どの生育段階に根系のどの位置に根粒が形成されるか、また、形成された個々の根粒の窒素固定能力が時間とともにどのように変化するか、の2点について把握する必要がある。著者らは、ダイズに次いで世界第2位の生産量を誇り、根粒形成が特徴的であるラッカセイを取り上げ、まず、どの生育段階に根系のどの位置にどのような発達段階にある根粒が形成されるかについて、日本で広く栽培されている品種を中心に検討した結果を報告した(1, 2)。そこで、つぎに根粒の窒素固定能力についてアセチレン還元活性を指標として評価し、根粒の生育段階との関係について検討した。

材料および方法: ラッカセイ品種千葉半立を東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場(西東京市)内の温室内において、パーミキュライトを培地に用いて養液栽培し(培養液に窒素は含まれない)、播種後5日目に根粒菌を接種し、接種後7日目に3個体の根系を採取した。根系に形成されている根粒を、円定規を用いて直径1.0mm以下(以下A)、1.0-1.5mm(B)、1.5-2.0mm(C)の3グループに分級した後(1, 2)、それぞれのグループに属する根粒のアセチレン還元活性をそれぞれ6, 3, 5反復(1反復3粒)ずつ測定した。その後、個々の根粒の新鮮重を測定するとともに、カミソリで根粒を2分して断面の顕微鏡写真を撮り、直径、全体の断面積、および根粒菌が感染した領域の断面積を測定した。

結果および考察: 3グループの根粒直径の平均値はA: 1.18, B: 1.82, C: 2.14 mmであり、新鮮重にもグループ間で差異がみられたことから、円定規による根粒の簡易分級が有効であることが確認できた。この分級において、根粒一個あたりのアセチレン還元活性は、 $A << B < C$ であった。そこで、新鮮重あたりのアセチレン還元活性を検討したところ、 $A < B = C$ であった。窒素固定能力には根粒菌に感染している部分の量が関係していると考えられるため、両者の関係について検討した結果、直径別のグループに関係なく、根粒の断面積における感染領域の比率はほぼ一定であった。また、BおよびCグループでは、アセチレン還元活性が感染領域の断面積の1.8乗と強い正の相関関係があることが明らかとなった。また、感染領域の断面積は根粒断面の直径の2乗値と密接な正の相関があり、その結果、断面直径のべき乗回帰によっても、アセチレン還元活性を近似することができた。以上のことから、ラッカセイの根粒の発達と窒素固定能力との関係は、次のように考えられる。すなわち、根粒全体に対する感染部分の比率はほぼ一定で、根粒の発達に伴って大型化していく。感染領域の体積当たりのアセチレン還元活性はBおよびCグループではほぼ同じで、根粒の発達にともなって根粒あたりのアセチレン還元活性は増加するということである。ところで、Aグループでは感染領域の比率はBやCグループと変わらないものの、感染領域あたりのアセチレン還元活性は低かったことから、AグループとBおよびCグループとの間に機能的な差異があると考えられる。そこで、根粒断面の観察を行ったところ、感染領域の色に差異が認められた。すなわち、Aグループの根粒では感染領域はほぼ白色であるのに対して、BやCグループでは淡赤色であった。感染領域の赤色は窒素固定能力に関係する酵素のレグヘモグロビンの色であり、窒素固定能力を有していることを示すと考えられる。このことから、ラッカセイの根粒は直径1.0mm前後の発達段階で窒素固定能力を獲得する可能性が示唆された。

以上のように、ラッカセイ根系に形成された根粒について、直径から窒素固定能力を推定できると考えられ、根系全体の窒素固定能力の推移を定量的に把握できる可能性があると考えられる。

謝辞: 本研究で使用したラッカセイ品種の種子は、千葉県農業総合研究センター育種研究所畑作物育種研究室の長谷川理成氏、鈴木茂氏、同落花生試験地の岩田義治氏から、根粒菌は十勝農業協同連合会農産化学研究所から、それぞれ譲渡して頂いたものである。また、栽培管理については、東大農場の秦野茂、久保田浩史、白井深雪、手島英敏、角谷架織の各技術職員にお世話になった。ここに記して謝意を表す。

引用文献: (1) 田島ら(2004) 日作紀 73(別 1): 196-197. (2) 田島ら(2004) 根の研究 13: 84.

キマメとセสบニアはいかにして地下水を利用し乾燥ストレスを回避するのか?

関谷信人^{1*}・荒木英樹²¹名古屋大学大学院生命農学研究科, ²山口大学農学部附属農場

(*連絡先 e-mail: nsekiya@agr.nagoya-u.ac.jp)

【はじめに】降水量が減少すると植物に利用可能な水分は相対的に深い土層で多くなる。このため深い土層でより多くの根を発達させれば、より多くの水を吸収して乾燥ストレスを回避できると考えられている。しかし、私たちはこれまでに、セสบニアはキマメよりも多くの根を深い土層に発達させるにも拘わらず、その層からの吸水量はセสบニアよりもむしろキマメで多くなることを観察した。私たちは、根量と吸水量の間に単純な相関関係が成立しないのは、根の通水性が異なることに起因するという仮説を立てた。本研究では、その仮説を検証するとともに、根の通水性が葉の水状態と挙動に与える影響も検証した。

【材料と方法】キマメとセสบニアを上下2層に分かれた円筒土壌に栽培した。実験は人工気象室内(30/25°C (昼/夜)、RH70%、光 500 μ mol/m²/s)で行った。上層土壌には3日毎に灌水した。円筒を水に浸し下層土壌へは常に水を供給した。播種後52日目に上層への灌水を停止して土壌を乾燥させ、その後13日間に渡って各種パラメータを経時的に測定した。根系の通導コンダクタンス、気孔コンダクタンス、葉身水ポテンシャルは、それぞれハイプレッシャーフローメータ (HPLM)、ポロメータ、プレッシャーチャンバで測定した。また、根長を測定して根長あたり通導コンダクタンスを算出した。

【結果と考察】両植物種とも灌水停止後3日目までに上層土壌の体積含水率は8% (約-0.53MPa)まで低下し、上層からの水供給はほぼ停止した。そして、両植物種とも同様に下層から吸水し13日間の全吸水量にほとんど差はなかった。

灌水停止に伴い根からの水供給量が減少すると、キマメでは気孔コンダクタンスが低下し、葉身水ポテンシャルは高いまま維持された。それとは逆にセสบニアでは、気孔コンダクタンスが高いまま推移し、葉身水ポテンシャルが低下した。

キマメの気孔コンダクタンスは低く推移したため蒸散速度も低く推移した。しかし、キマメの葉面積は徐々に増加し個体あたりの蒸散要求は増加した。そこでキマメは、増加する蒸散要求に対して下層に発達した根の根長あたり通導コンダクタンスを上昇させることで吸水を維持した。

セสบニアの葉面積はキマメに比べて小さいものの、気孔コンダクタンスが高く推移したので、やはり個体あたりの蒸散要求は高かった。セสบニアが下層に発達させた根はキマメに比べて根長あたり通導コンダクタンスが非常に低いが、高い蒸散要求を満たすためにより多くの根を下層に発達させることで吸水を維持した。

【まとめ】キマメとセสบニアの水獲得戦略は大きく異なった。すなわち、キマメは下層に発達した根の通水性(根長あたり通導コンダクタンス)を上昇させることで吸水量を確保したのに対して、セสบニアは通水性の低い根を多く発達させることで吸水量を確保した。また、地下部からの水供給量が減少すると、キマメは鋭敏に気孔開度を低下させて水欠乏を回避したが、セสบニアは気孔開度が低下しなかった。大気蒸散要求度が高く乾燥した土壌で生育するセสบニアは、下位葉を落葉させて蒸散要求を低下させるが、それはキマメのように根の通水性を上昇させることができない上に、水欠乏でも気孔開度が低下しないことに起因する可能性がある。

国内コムギ品種における根の貫通力と伸長角度の関係

久保堅司¹⁾, 三熊敏弥²⁾, 小柳敦史¹⁾, 岩間和人³⁾

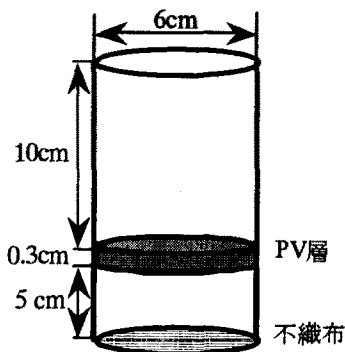
¹⁾ 東北農業研究センター, ²⁾ 東京大学大学院農学生命科学研究科 ³⁾ 北海道大学大学院農学研究科

(tel: 024-593-5151, e-mail: ktskubo@affrc.go.jp)

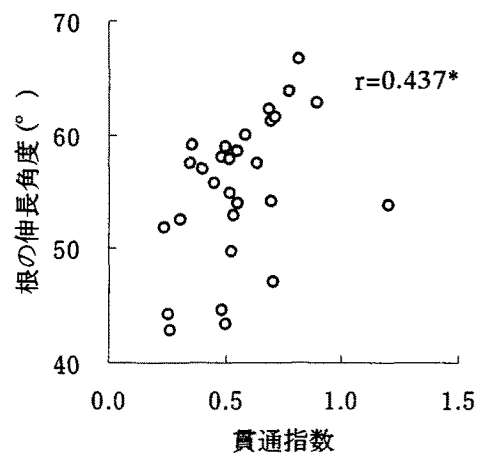
乾燥, 大型機械の走行や有機物の減少等によって形成される硬盤土壌は全世界で約 6800 万ヘクタールに分布している. このような土壌条件におけるコムギ栽培では, コムギの根の伸長が物理的に抑制され, 乾燥害が深刻なものとなる. そこで, 硬盤土壌への根貫通力が重要な形質の一つであると考えられ, 筆者らはこれまでに, コムギにおける硬盤層への根貫通力の遺伝変異について明らかにしてきた. しかし, 根貫通力に関わる形質については未だ十分に明らかにされていない. これら形質について解析を進めることは, 硬盤土壌ストレス, 乾燥ストレス等に適応する品種を効率的に選抜するための重要な過程の一つである. そこで, 本研究では根貫通力と関連する形質を評価することを目的とし, 国内コムギ品種における根の貫通力と伸長角度との関連性を解析した.

材料および方法: 供試材料として, 北海道品種としては秋播 27 品種・系統と春播 16 品種・系統を, 本州・九州品種としては各地の主要な 39 品種を供試した. 根貫通力については, パラフィン-ワセリン混合 (PV) 層を埋め込んだポットでコムギを 56 日間栽培し (第 1 図), PV 層に到達した種子根・冠根数あたり PV 層の貫通根数 (貫通指数) を算出することで評価した (既発表). PV 層上部の培地には, 容積含水率が 20% まで低下したときに灌水を行い 50% とした. PV 層下部の培地はポット底部から吸水させることによって常時湿潤状態とした. 根の伸長角度についてはバスケット法を用いて計測し, それと同時に粒重についても測定した.

結果および考察: 貫通指数, 根の伸長角度および粒重はいずれも幅広い変異を示した. これら形質の関係を解析したところ, 本州・九州品種における貫通指数と根の伸長角度との関係において, 有意な正の相関関係が認められた. 特に関東以西の品種で密接な相関関係が認められ (第 2 図), これら品種の貫通指数には根の伸長角度が関係していることが示唆された. 一方, 東北・北海道品種における貫通指数と根の伸長角度との相関関係は有意でなく, これら品種の貫通指数には根の伸長角度以外の要因が関与している可能性が推察された.



第 1 図. 根貫通力検定ポットの模式図. PV 層は 40% のパラフィン (paraffin) および 60% のワセリン (Vaseline) を混合して作成した円盤を示す. PV 層の上下には肥料を混合したパーミキュライトを満たし, 底部は不織布で覆った.



第 2 図. 関東以西の品種における貫通指数と根の伸長角度との関係.

*は 5% 水準で有意であることを示す.

根の接地インピーダンスの日変化測定

山浦逸雄*・上條岳穂・田中京子・矢嶋征雄

信州大学繊維学部

(*連絡先 iyama00@shinshu-u.ac.jp)

電気工学的に定義される接地抵抗の測定法に基づき根の接地インピーダンスを測定すれば、測定電極のサイズや形状、測定対象と測定用接地電極との距離に関わらず、根が大地に対して固有にもつインピーダンスを求めることができる。根の接地インピーダンスの絶対値は根の大きさと相関がある。根の発達に伴う接地インピーダンスの変化は緩やかなものであるが、植物の毎日の生理的活動による変化も重畳していると考えられる。従来の生長を課題とした間欠的な測定では1日の変化を明確に把握し得なかった。電極を対象に取り付けたまま、連続測定によって根のインピーダンスの日変化を捕らえたので報告する。

【材料および方法】測定対象は常緑高木のイブキ (*Juniperus chinensis* L.) とした。根元直径約 20 cm、高さ約 6 m である。接地インピーダンスの測定には、電極抵抗の影響を受けない 4 電極法を適用し、対象の根元にステンレス製の釘電極 2 本、数メートル以上離れた地面にも補助電極棒 2 本を設置した。インピーダンスメータ (HIOKI: 3532-50) を 4 電極仕様として電極との結線を行った。測定器とパソコンを接続し、データの取得およびデータの格納を連続自動的に行った。根の接地インピーダンスの電気的等価回路を抵抗 R_p と容量 C_p の並列回路と仮定し、インピーダンスの絶対値 $|Z|$ とともに表示する。測定信号レベル 5 V、周波数 575 Hz である。測定間隔は 10 分、2005 年 5 月から 6 月にかけて連続測定が行われた。

【結果および考察】2005 年 5 月 16 日午前 0 時から 6 月 10 日午前 0 時までの連続測定結果を図 1 に示す。測定期間中、1 日を周期とした変化が明瞭に認められた。 $|Z|$ は R_p にほぼ等しい。これは C_p が非常に小さいためである。しかし、値は小さいとはいえ、 C_p の変化は確実に認められる。3 回の大きな変動が一過性的に生じているが、これは降雨によるもので、測定電極やリード線が雨に濡れた影響である。降雨後はインピーダンスに回復がみられる。これは地面の乾燥によって、大地比抵抗の値が漸増するためである。降雨がない時の R_p と C_p の 1 日の変化量は、数%であった。 R_p の一日の変化を詳細に観察したところ、日の出とともに急激に下がりはじめ午前 9 時から 10 時頃にかけて最小となり、その後は上昇し、夕方最大となる。夜は未明にかけて下がり続けた。 C_p については R_p ほど明確でなくその変化は複雑であったが、 R_p と前後する傾向があった。気温変化との比較も試みたが、変化極性や追従性において強い関係はみられなかった。むしろ、明け方から午前 10 時頃にかけて R_p が急激に下がる現象は日照と強い関係があると判断された。

連続測定から得られた結果は主として根の組織インピーダンスの変化によるものと考えられる。植物の地上部での活動が根の組織インピーダンスに影響をおよぼすとすれば、本測定法は植物の生理的活動のモニタとして役立つことができるのではないかと考えられる。

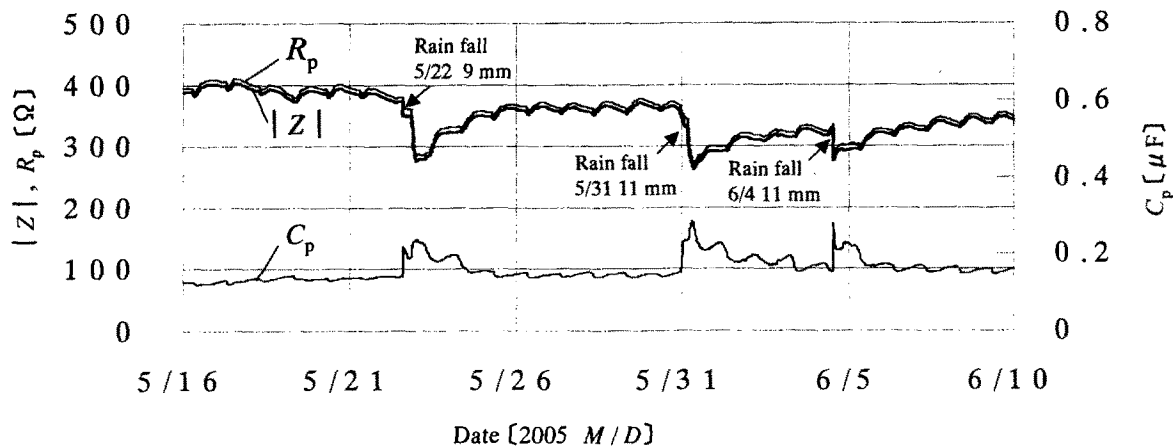


図1 イブキ接地インピーダンスの連続測定

Iron (Fe) tolerance of elite breeding lines developed at IRRI in relation to translocation of Fe from rice roots to shoot

Takuhito Nozoe^{1,2}, Ruth Agbisit¹, Yoshimichi Fukuta¹, Reynaldo Rodriguez¹, and Seiji Yanagihara¹

(¹ International Rice Research Institute (IRRI), ² present address: National Agricultural Research

Center for Hokkaido Region, Japan; 1 Hitsujigaoka, Toyohira-ku, Sapporo, 062-8555 Japan;

email:nozoe@affrc.go.jp)

Objectives. Iron toxicity is one of the more serious problems that occur in irrigated or rainfed soils. Although IRRI has developed many rice lines and varieties to address this problem, the physiological mechanisms have remained unclear. The present study aims to analyze the mechanisms of Fe tolerance in breeding lines as they relate to Fe translocation from the roots to the shoots

Methods. Four lines of rice (*Oryza sativa* L.) and IR64 developed in IRRI were cultivated in a field with Fe toxicity (Iloilo City, Philippines) and under normal soil conditions (IRRI farm). Two of the lines were near-isogenic lines (NILs) of IR64, selected as Fe-tolerant lines in solution culture. The other two lines were elite Fe-tolerant lines selected in Iloilo.

Results. The ratios of yields at Iloilo to those at IRRI were calculated. Those of elite lines were greater than those of IR64 and its NILs indicating greater tolerance of elite lines for Fe toxicity compared with those of IR64 and its NILs. In Fe-toxic soils in Iloilo, growth of IR64 and its NILs was inhibited, especially in the late stage of growth. 1) After the flowering stage, the amount of Fe in the roots either of elite lines increased uniformly or remained constant, whereas those of IR64 and its NILs increased rapidly. 2) After flowering, the amount of Fe in the leaves of elite lines increased more slowly than did those in IR64 and its NILs. The final amounts of Fe in the former were smaller than those in the latter.

Conclusions. It is reported that rice roots can exclude the uptake of Fe (iron-excluding power) and that it can retain Fe so as not to translocate Fe to the shoot (iron-retaining power). The first finding suggests the expression of Fe-excluding power in elite breeding lines. Findings 1 and 2 suggest a decrease in the Fe-retaining power in IR64 and its NILs. Tolerance for Fe toxicity is associated with those powers of the root.

Growth inhibition by Cd and alleviative effects of Si in maize and sorghum seedlingsAlexander Lux^{1,2}, Satsuki Kodama^{2*}, Jun Abe² and Shigenori Morita²¹Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava, Slovak Republic²Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Japan

* Corresponding author, E-mail: satchmo@fm.a.u-tokyo.ac.jp

Soil pollution by heavy metals is a serious environmental issue all over the world, and causes damages in biomass production of both crops and plants as well as damages for human health. Among those heavy metals, Cd is one of the major widely-spreading pollutants that inhibit growth of plants and crops severely. Recently, it is shown that silicon might inhibit influx of Cd into cytoplasm in rice because Cd is precipitated as Cd-Silicate in cell walls (Wang et al. 2000). In this study, we examined the possible effect of Si for alleviating Cd toxicity in maize (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) after confirming Cd toxicity for them in hydroponic culture.

A quarter-strength Hoagland solution was used for the hydroponic culture, and there were four treatments by the combination of two Cd concentrations (0 or 5 μM as CdNO_3) and two Si concentrations (0 or 1.67 mM as K_2SiO_3). Seeds of maize (c.v. Golddent KD720) and sorghum (c.v. Gadambalia) were germinated on wet filter paper for three days followed by transplanting to hydroponics, and the seedlings were harvested at the 6 (maize) and 14 (sorghum) days after transplanting. Dry weight and Cd content of shoot and roots were measured. The total lengths of the axes of the seminal roots with and without lateral roots of maize were also measured to evaluate their branching degree.

Growth inhibition of maize by Cd toxicity was moderate and its damage was alleviated by Si application, whereas Cd toxicity was serious in sorghum and growth inhibition could not be recovered by Si. The shoot dry weight of maize treated by Cd was lower than that in the control, whereas the root dry weight was not significantly different from each other. In sorghum, on the other hand, the dry weight of both shoot and root was significantly lower in the plot of Cd treatment. In sorghum, the color of seminal roots treated by Cd was darkened and lateral root development was seriously inhibited, while the color and morphology of maize roots were not different from each other both in plots with and without Cd. Although there was no difference in Cd concentration in the roots of maize and sorghum, the Cd concentration in the shoot of maize was 4-5 times higher than that of sorghum. There were positive correlation between dry weight and Cd concentration of shoot in maize, and negative correlation between those of sorghum, respectively. The shoot dry weight of maize was higher and their lateral roots were more developed in the plot of Cd with Si than in the plot of Cd without Si. The growth of sorghum in the plot of Cd was inhibited by Cd regardless of Si treatment, though the Cd concentration of sorghum root in the plot of Cd with Si treatment was lower than that in the plot of Cd without Si treatment.

The results suggested that the Si effect of alleviating Cd toxicity was depending on plant species and/or the level of the toxicity. Si may improve the tolerance for Cd when Cd toxicity is moderate due to the enhanced development of lateral roots as shown in maize in the present study. The lateral roots may be more tolerant for Cd comparing with the seminal root axes, and the lateral root development could maintain sufficient absorption of water and nutrient. On the other hand, the root of sorghum was damaged so hard that the translocation of Cd from root to shoot was declined as well as nutrients, and that plant growth was severely inhibited both Cd treatment and Cd + Si treatment.

References

Wang,L., Wang,Y., Chen,Q., Cao,W., Li,M. and Zhang,F. 2000. Silicon induced cadmium tolerance of rice seedlings. J. Plant Nutr. 23: 1397-1406.

水稻の玄米外観品質の形成に根はどのような役割を果たすのか？

～玄米外観品質と出液速度の品種間差異～

大橋 善之 (京都府丹後農業研究所)

(E-mail : y-ohhashi60@mail.pref.kyoto.jp)

近年の夏期高温によって、水稻栽培では、乳白粒や腹白粒などの白未熟粒の発生し、玄米の外観品質の低下が問題となっている。そのような中、稲作現場では、登熟期間中に根を健全に保つことによって、収量や品質が向上すると考えられているが、玄米の外観品質と根の関係については、詳細に検討した事例はない。そこで、高温登熟性の異なる品種を用いて、登熟期間中の出液速度と玄米外観品質を調査し、水稻の玄米外観品質の形成に根がどのような役割を果たしているのかを検討した。

<材料と方法>

2004年5月16日に京都府丹後農業研究所内の水田において、高温登熟性の異なる2品種、コシヒカリ(高温登熟性:中)、初星(高温登熟性:弱)を22.2株/m²、1株3本で手植えした。出液速度は、8月3日、8月13日、8月26日の3回、森田・阿部(1999)の方法に準じて測定した。また、成熟期(コシヒカリ:9月3日、初星:8月30日)に刈り取り、脱穀、調整し、篩い目1.8mm以上の玄米を精玄米とし、その後の調査に供した。玄米外観品質は、穀粒判別器(静岡精機社製ES-1000)によって分類した。

<結果と考察>

出液速度は、いずれの調査時期においてもコシヒカリで高く、初星で低かった。しかし、コシヒカリと初星では出穂期が異なる(コシヒカリ:7月31日、初星:7月26日)ことから、出穂後の日数と出液速度の関係みた。その結果、コシヒカリの出液速度は、出穂3日後(8月3日)が最も高く、それ以降、ほぼ直線的に低下したが、初星では、出穂8日後(8月3日)よりも出穂18日後(8月13日)の方が高く、その後、コシヒカリと同様に低下した。

収量は、コシヒカリで53.8kg/a、初星で52.5kg/aと大差なかった。外観品質は、整粒の粒数割合がコシヒカリで68.6%、初星で55.4%と、初星が劣った。初星では、乳白粒、腹白粒、基部未熟粒の割合が高く、外観品質が著しく低下した。

水稻の玄米における白未熟粒の発生には、出穂後10~20日後の夜温(日最低気温)が高いことが大きな要因と考えられている。今回の調査では、出穂後10日程度までは、コシヒカリで高く、初星で低かったが、出穂10日以降の出液速度は、両品種とも同様に低下する傾向であった。このことから、出液速度が玄米外観品質に及ぼす直接的な影響は小さいものと考えられたが、根と品質の関係については、今後、さらに検討を進めたいと考えている。

なお、本試験は、Ko-on-net連絡試験の一環で実施しており、初星の種子は本連絡試験を通じて、中央農業総合研究センター・北陸研究センター・北陸水田利用部・栽培生理研究室の松村修室長から提供を受けた。ここに記して謝意を表す。

<引用文献>

森田茂紀・阿部 淳 1999. 出液速度の測定・評価方法. 根の研究 8: 117-119

キャベツ品種の施肥窒素水準に対する生育・窒素吸収応答

菊地 直・村上 弘治

野菜茶業研究所

(連絡先: 〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1 029-838-7312)

野菜栽培は一般に多肥の傾向にあり、環境保全的見地からも野菜の養分要求特性に適合した効率的な養分管理技術の開発が求められている。キャベツ等露地栽培においては、被覆肥料の利用や局所施肥等による環境保全型施肥技術の開発が進められているが、野菜の窒素利用における生理特性が明らかとなっておらず、作型、土壌条件、品種等の変化に対応することが難しいため、窒素吸収や窒素同化等、窒素利用に関する作物の諸特性、およびそれらに対する環境条件の影響を解明する必要がある。

本報告では、主要な露地野菜であるキャベツにおける窒素吸収・代謝における諸特性を解明するための前段階として、施肥窒素濃度に対するキャベツ苗の生育・窒素吸収反応の品種間差を比較調査した結果について報告する。

【材料および方法】

<試験 1> 秋作用キャベツ 19 品種を、パーミキュライト・パーライト混合培地を充填したビニールポット(12cm 径)に播種し、適宜液肥(標準区: 窒素濃度約 2mM、1/2 区: 同 1mM)を与えながら温室内で栽培した。播種後 30 日目に地上部および根を採取し、乾物重、全窒素含量を測定した。

<試験 2> 試験 1 に供試した秋作キャベツのうち 8 品種を、育苗倍土を充填した 128 穴セルトレイに播種し、底面給水(播種後 10 日目より液肥)を行いながらビニールハウス内で栽培を行った。液肥は窒素濃度を変え、7 処理区(1/4、1/2、2/3、1、3/2、2、4 倍濃度)を設けた。標準区(1 倍)の窒素濃度は 2mM とし、その他の成分は液肥(大塚 A 処方、1/10 濃度)を参考に調製した。播種後 30 日目に地上部および根を採取し、乾物重、全窒素含量を測定した。

【結果および考察】

<試験 1> 地上部および根の乾物重は、施肥窒素濃度の低下により、どの品種においても減少したが、標準区に対する 1/2 区の比は 0.5~0.96 となり、品種により大きく異なった。また、全窒素含量も同様に、1/2 区では標準区と比べて低下し、その割合は 0.41~0.84 と品種間差が顕著であった。乾物重と全窒素含量における各品種の反応は、ほぼ同様の傾向を示し、窒素含量と乾物重に正の相関関係が認められた。窒素含量は、根乾物重あたりの窒素含量との相関は低く、根乾物重との相関が高かったことから、ポット栽培条件では根量が窒素吸収量に大きく影響したと推定された。

<試験 2> 施肥窒素濃度の変化に対する地上部乾物重は、窒素濃度に対応して増減したが、標準区の値を基準とした各処理区の増減割合は品種により異なり、施肥窒素に対して敏感に反応する品種と鈍い品種があることが示された。根乾物重における反応は地上部と異なり、標準より高い窒素濃度域では乾物重が減少する傾向を示したのに対し、低濃度域では、地上部と同様に窒素濃度の低下に伴って減少する品種と、減少割合が緩やかな品種が存在するなど、窒素濃度域・品種により反応が異なることが示された。また、窒素含量は施肥窒素濃度に対応して増減したが、増減割合は品種間で差がほとんど認められず、乾物重との関係も明確ではないなど、根生育の制限が大きいセルトレイと、比較的緩やかなポット栽培では生育・窒素吸収反応を左右する要因が異なる可能性が示唆された。今後は、今回の結果を基に、品種間差が生じる機構について、根系生育や根の窒素吸収活性等から解析を進める予定である。

堆肥成型ポットによるキャベツ栽培と根の発達

竹中 眞^{*1}、高島 晃²、加藤邦彦³¹中央農業総合研究センター、²環境資源応用技術開発研究所、³北海道農業研究センター

(*連絡先 e-mail: takenaka@affrc.go.jp)

家畜排泄物由来の堆肥は地域により局在しており、過剰地域では地域の処理能力を上回り環境汚染が懸念される一方、有機質資材の不足している農地もかなり存在する。このような状況下、家畜由来堆肥の広域流通と取り扱いの容易な資材化が求められている。既に堆肥をペレット状にする研究は実用化段階にある。しかし、さらに使いやすく用途を広げるためには堆肥を用いた新たな資材化が必要と考えられる。堆肥をポット状に成型すると従来のプラスチックポットで問題となる根鉢形成が回避でき、より少量で堆肥のもつ諸効果を発揮するとともに扱いやすい資材とすることが可能と考えられる。そこでキャベツを対象として各種堆肥でポットを製造し、その形状や堆肥の最適使用量、混合する副資材、育苗法、生育量や根発達への影響を検討した。

材料と方法

原料の堆肥として牛ふん堆肥(北農研および十勝)、パーク堆肥(十勝)、もみ殻牛ふん堆肥(JA岩見沢)を用いた。腐熟度の評価はコマツナを用いた発芽試験により行った。堆肥および堆肥ポットから得た熱水抽出液をろ紙を2枚敷いたシャーレに10mlを加えコマツナ25粒を播種し25℃3日間培養後、胚軸長、根長を測定した。また、堆肥ポットからの塩類の溶出を調べるため、堆肥ポットにバーミキュライトを詰め、毎日100mlの蒸留水を添加し、25℃70%湿度暗所で培養し続け溶出液のECを測定した。資材のもつ根伸長促進活性は、堆肥および堆肥ポット50g(新鮮物)からのメタノール抽出物を100、1000、10000ppm水溶液に調製し、被験液5mlをろ紙をしいたシャーレに入れ、発芽したチンゲンサイ(青帝チンゲンサイ)種子20粒をまき、25℃4日間暗所で培養し根長を測定し、蒸留水を対照として相対根長で活性を評価した。

キャベツ栽培試験には、もみ殻牛ふん堆肥と副資材として炭、ゼオライト、バーミキュライト、フライアッシュを種々の割合で混合して製造した縦横50mm高さ45mm厚さ5mmの直方体ポットと対照として5cm角ビニールポットを用いた。育苗用培土は園芸用培土にゼオライトを1:1(容積)に混合し、肥料成分をN、P₂O₅、K₂O各15.3、65.3、10.6mg/ポットで施用した。品種は北ひかりを用い、2004年7月5日播種、7月28日定植、9月20日収穫した。全量基肥としN、P₂O₅、K₂O各22kg/10aを施用した。試験区は1区20株、2連、株間40cm、畝間60cm、試験区の間もキャベツを栽培した。収穫時に地上部重、結球重、根重を測定した。

結果と考察

堆肥ポットおよび原料堆肥の発芽試験の結果、胚軸の伸長はパーク堆肥とそのポットでは対照のバーミキュライトに比べ同等かそれ以上、十勝の牛ふん堆肥では伸長促進されたが、北農研製牛ふん堆肥とそのポットでは伸長が抑制された。根では堆肥および堆肥ポットは対照より伸長が抑制された。熱水抽出液のECと胚軸長、根長には負の相関が認められ、塩類濃度が伸長阻害の要因と考えられた。堆肥ポットからの塩類の溶出は、育苗初期の約10日間に主に溶出し、とくに牛ふん堆肥ポットでは最高6mS/cmを超える塩類濃度となりキャベツの生育を阻害したことが明らかとなった。メタノール抽出物の生育促進効果はキャベツでは阻害的であったが同じアブラナ科のチンゲンサイでは促進的であり、堆肥の効果は種特異的であることが示唆された。

圃場試験では、キャベツ定植時、対照に比べ堆肥ポットの生育は良好で、収穫時にはその差は縮小したものの収量は同等かそれ以上であった。しかし、根重は同等かやや劣る傾向にあった。育苗期間に根は堆肥ポットを突き抜けて一部ポット外部へ伸長してきた。収穫時、根は堆肥ポット外に大きく発達していたが、堆肥ポットは完全には分解していなかったことから根の発達に多少影響したと思われる。また、本圃定植時に堆肥ポット上部を土で覆わないとポット内が乾燥して障害が生じるという問題も生じた。より良い堆肥ポットの製造のためには堆肥の質やポットの厚さ、形状などと育苗用培土についてさらに検討が必要である。

アーバスキュラー菌根の共生強度とダイズの各種元素吸収との関連性

鈴木弘行^{1*}・村松雅子²・熊谷宏¹・野川憲夫³・坂本一憲²・犬伏和之²¹千葉大学大学院薬学研究院・RI 実験施設, ²千葉大学園芸学部, ³東京大学 RI センター

(*e-mail:suzuki@poraa.ric.chiba-u.ac.jp)

アーバスキュラー菌根 (以下 AM) を形成した植物では P、Cu、Zn 等の吸収が改善される。このような元素の吸収改善には AM 菌の外生菌糸による植物への元素輸送が関係している。しかし、AM 形成した植物では外生菌糸によって輸送されにくい元素の吸収が高くなる場合がある。このため、AM 形成が植物の諸元素の吸収にどのような影響を及ぼしているかは十分に明らかにされていない。本研究では植物と AM 菌との共生系が強化あるいは抑制されたモデルとして研究されているダイズの菌根変異体を用いて各種元素の吸収と AM との共生強度との関係について検討したので、その結果を報告する。

<試料と方法> 宿主植物としてダイズ(エンレイ)の野生型(WT)、樹枝状体を過剰に形成しやすいエンレイの変異体(En6500)、樹枝状体を形成しにくいエンレイの変異体(En1282)を用いた。接種 AM 菌には *Glomus etunicatum*(Ge.)と *Gigaspora rosea*(Gi.r.)を用いた。試験区は1試験区あたり3個体とし、AM菌無接種のWT-C区、En6500-C区、En1282-C区の3区、Ge.を接種したWT-Ge.区、En6500-Ge.区、En1282-Ge.区の3区、Gi.r.を接種したWT-Gi.r.区、En6500-Gi.r.区、En1282-Gi.r.区の3区、計9試験区を設けた。栽培はパイオトロン内(明期14h、気温28℃、照度35,000lx、湿度50%;暗期10h、気温23℃、湿度50%)で行い、播種後73日目に植物体を採取した。採取した植物体は茎葉部、子実部、根部に分け、根部の一部をAMの共生強度(樹枝状体形成率)の測定のために分取した。残る各部位は蒸留水で洗浄し土壌粒子等の付着物を除去した後、80℃で2日間乾燥した。乾燥した各部位は粉碎し放射化分析に用いた。放射化分析は日本原子力研究所のJRR-4で中性子の照射を行い、Ge半導体検出器を用いてNa、Mg、Cl、K、Ca、Sc、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Br、Rb、Sr、Cs、Ba、La、Ce、Sm、Eu、Yb、Lu、Th、Uの24元素を測定した。

<結果と考察> Ge.接種下のWT-Ge.区、En6500-Ge.区、En1282-Ge.区における樹枝状体形成率と各元素の含有率との相関関係を求めた結果、根部のMnに正の一次相関が認められた。一方、Gi.r.接種下のWT-Gi.r.区、En6500-Gi.r.区、En1282-Gi.r.区においては、根部のMn、La、Ce、Sm、Yb、Lu、茎葉部のK、Mn、Ba、子実部のMn、Fe、Co、Znの含有率と樹枝状体形成率との間で正の一次相関が認められた。相関関係が認められた元素の各部位における元素含有率をWT-C区、En6500-C区、En1282-C区の試験区間で比較すると、茎葉部のMnとBaにのみ有意差が認められた。このため、Gi.r.接種下のダイズでの茎葉部におけるMnとBaの含有率の増加は樹枝状体形成率の増加だけでなくダイズの変異体による違いによる影響も受けている可能性がある。一方、Ge.接種下のダイズ根部のMn含有率の増加とGi.r.接種下のダイズ根部のMn、La、Ce、Sm、Yb、Lu、茎葉部のK、子実部のMn、Fe、Co、Znの含有率の増加にはダイズの変異体による違いによる影響は小さく、主に樹枝状体形成率の増加が影響を及ぼしている可能性がある。

土壌環境がダイズの発芽・発根と根粒着生との関係に及ぼす影響 —土壌水分との関連性—

白木一英 <北海道農業研究センター>

(連絡先: 河西郡芽室町新生 電話: 0155-62-9274 e-mail: kazuei@affrc.go.jp)

寒地ではダイズの開花期前後に葉色が黄化する圃場が見受けられ、このような圃場での子実タンパク含有率の低下と根粒着生の多少との関連が指摘されている。また、寒地のダイズ初作圃場では土着根粒菌密度が低く、ダイズの根粒着生が劣ることが明らかにされている。このような根粒菌密度が低下した圃場において根粒菌接種を行っても着生が劣る事例が見受けられている。この要因として過湿・過乾が接種根粒菌の生存を左右することが報告され(東田 1990)、接種菌による根粒が形成しはじめるまでを播種後 20 日とし、その間の平均地温が 15℃程度であることを勘案すると、根粒菌がつきはじめるまでに接種した根粒菌は数%に減少すると考えられている(東田ら 1988)。そこで菌密度が低下した場合における接種菌による根粒着生とダイズの発芽・発根、特に根粒菌感染と関係する根毛発生の遅速との関連性について検討した。

1. 発芽と発根、根毛発生時期について

20℃のインキュベータ内の50ml遠心管に純水を入れ、水面に設置した濾紙上にダイズ種子を静置し、根長と根毛発生を実体顕微鏡下で観察した。静置後2日目には発根し、3～5日目には根毛発生が認められた。

2. 播種前の土壌水分と出芽の遅速について

20℃のグロースキャビネット内で播種時の土壌水分を含水比15%、25%、35%に設定し、播種後5日目に土壌水分が含水比35%となるように灌水し、出芽までの日数を調査した。播種時の水分が15%では出芽までの日数が遅れた。

3. 播種後の降雨時期の違いと根粒着生について

20℃のグロースキャビネット内で播種から降雨までの期間が0日から10日となるように灌水処理を行い、接種菌の根粒着生に及ぼす影響を調査した。滅菌した畑土壌(黒ボク土)を用いて土壌水分を含水比15%となるように調整し、播種後0日目、1日目、3日目、7日目、10日目に含水比35%となるように地表面から灌水した。その結果、おおむね土壌水分の変更までの日数が長くなると根粒着生が少なくなり、また、側根に着生する割合が多くなる傾向が認められた。

以上の結果から降雨の時期の違いによって発芽が遅れた場合には根粒着生に少なからず影響があることが推察され、今後、低温時の発芽の遅れと根粒着生との関連性についても検討する必要があると考えられた。

引用文献

東田修司(1990) ダイズに対する根粒菌接種効果の向上 土肥誌 61(4), 413-416

東田修司・石井忠雄(1988) 根粒菌株間の競合と根粒形成 「生物的窒素固定の有効利用技術の開発」グリーンエネルギー成果シリーズⅡ系 No. 19, 49-62

高 CO₂ 濃度環境下における水稻根の発生・枯死と出液速度長谷部寛*¹・小林和彦¹・阿部 淳¹・森田茂紀¹・林 彦宏¹・岡田益己²・Md. Mozammel Hoque²・長谷川利拡³

(1:東京大学大学院農学生命科学研究科 2:東北農業研究センター 3:農業環境技術研究所)

(E-mail: yutaka_h@fm.a.u-tokyo.ac.jp)

Growth and mortality of root system and bleeding rate in lowland rice (*Oryza sativa* L.) root under elevated atmospheric CO₂ concentration in the field

Hasebe Y*¹, Kobayashi K¹, Abe J¹, Morita S¹, Lin Y¹, Okada M², Hoque M M² and Hasegawa T³

(1: Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The Univ. of Tokyo, 2: NARCT, 3: NIAES)

高 CO₂ 濃度環境下では、出穂期における水稻の根量は増加するが、単位根量当たりの出液速度は逆に低下する(Morita et al. 2005). その原因を解明するために、本研究ではミニライゾトロン(以下, MR)とメッシュバッグ(以下, MB; 井上ら, 1998)を用いて、高 CO₂ 濃度下の圃場における水稻根の発生と枯死を定量的に把握するとともに、根系の生理的活性の指標である出液速度を解析した。

材料と方法 FACE 実験場(岩手県雫石町; Okada et al. 2001)の高 CO₂ 区(大気 CO₂ 濃度+200ppm)と外気区(大気 CO₂ 濃度)に、アキタコマチを 2004 年 5 月 20 日に移植し、慣行栽培した。試験は、4 反復で行なった。MR (CID 社製, CI-600)を用いて出穂 2 週間後、4 週間後、6 週間後に根の画像を記録し、それぞれの時点における画像をトレースして比較することにより、登熟期間中の新根の発生と古根の枯死を推定した。枯死の判定は、MR 画像上で消失した部分の根を「枯死」とみなした。また、幼穂形成期ごろと出穂期ごろに出液速度とオーガー法(ライナー式採土器)を用いて根の現存量を測定するとともに、MB を用いて幼穂形成期ごろと出穂期ごろの各 2 週間に発生した新根量を推定した。

結果と考察 生育期間を通じて外気区に比べ高 CO₂ 区で茎数が多く、その差が最大となったのは出穂期ごろであった。根の現存量は、幼穂形成期・出穂期ともに高 CO₂ 区で多かったが、出穂期には両区の差が小さくなった。幼穂形成期の新根発生量は、外気区よりも高 CO₂ 区で大きい傾向がみられたが、出穂期には両区の差はほとんどなかった。幼穂形成期に比べ、出穂期で新根発生量が小さくなったのは両区で共通であった。株当り出液速度は、両区とも幼穂形成期より出穂期で大きく、幼穂形成期には外気区より高 CO₂ 区の方が大きかったが、出穂期には差がみられなかった。このことから、栄養生長期の新根発生は高 CO₂ 濃度環境下で活発となり、根系の生理的活性が高まるが、生殖生長期にはその効果がなくなることが示唆された。MR によって推定した登熟中期の 2 週間における高 CO₂ 区の新根発生率は約 1%、枯死率は約 30%で、外気区ではそれぞれ約 1.5%、約 25%であった。登熟後期の 2 週間では両区とも新根の発生が増えたが、これには落水による土壌環境の変化が関係していると考えられた。

謝辞 本研究は RiceFACE Project の一部として行われた。本研究を遂行するにあたり、圃場や FACE 装置の管理は、中村浩史氏、下野裕之博士、山川泰弘博士をはじめとする東北農業研究センターの関係各位にお世話になった。ここに記して謝意を表す。

引用文献 井上ら.(1998) 日作紀. 67(別 1): 60-61. Morita et al. (2005) J. Agric. Meteorol. 60(5): 961-965. Okada et al. (2001) New Phytol. 150: 241-249.

樹根接地インピーダンスの日変化について

上條岳穂, 田中京子, 矢嶋征雄, 山浦逸雄

信州大学 繊維学部

(連絡先 f04a406@tmail.shinshu-u.ac.jp)

1. はじめに

樹木の根の生育状態を非破壊的に知る手段のひとつとして、4電極法による樹根接地インピーダンスの測定法が提案されてきた¹⁾。これまで間欠的な測定を行ってきたが、本研究では連続測定を行い、落葉広葉樹の休眠期(2005年2月)および発芽展葉期(2005年5月)の日変化について調べたので報告する。

2. 実験材料および実験方法

測定対象は信州大学繊維学部キャンパス内に生育するケヤキ (*Zelkova serrata*) とし、接地インピーダンスの純抵抗 R_p と容量 C_p を測定した。測定にはインピーダンスメータ(日置電機 3522)を使用し、印加電圧は5V、周波数は1kHzとした。測定用電極として地面には金属製電極棒を、樹木にはステンレス製の釘を使用した。また、周辺土壌の電気的性質を考慮するために大地比抵抗 ρ を wenner の4電極法によって同時に測定した。気温は気象庁のアメダスによる長野県上田市のデータを参照した。

3. 実験結果および考察

ケヤキの休眠期の日変化を図1に、発芽展葉期の日変化を図2に示す。測定期間中において降水は観測されなかった。ケヤキの休眠期において R_p は気温と逆の変化を示し、 C_p は気温と同じ変化を示した。しかし、発芽展葉期においては、大地の乾燥による影響を除いてみると R_p は気温とともに変化し、 C_p は逆の変化を示している。表1に R_p 、 C_p 、 ρ の1日のおよその変化率を示す。休眠期の R_p の変化率は100%で、 ρ の変化率や発芽展葉期の R_p の変化率に比べると極めて大きい。 C_p は休眠期、発芽展葉期ともに大きい。これまで、休眠期では R_p や C_p の変化率が小さいのではと考えられたが、休眠期でも大きく変化していることがわかった。

図2から、 R_p は明け方から日中にかけて上昇し、夜間から明け方にかけて減少していることがわかる。また、 C_p は明け方から夕方まで減少し、その後明け方にかけて増加していることがわかる。今後、植物の生理機能との対応について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 山田美紗子, 田中京子, 山浦逸雄, 矢嶋征雄, “植物の電気接地抵抗による根の発達評価法” 根の研究, Vol.12, No.2, p.93(2003)

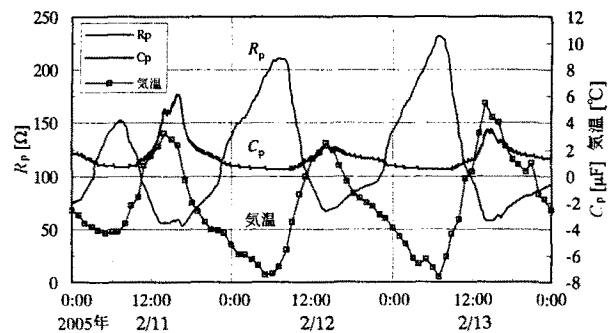


図1 ケヤキ休眠期の日変化

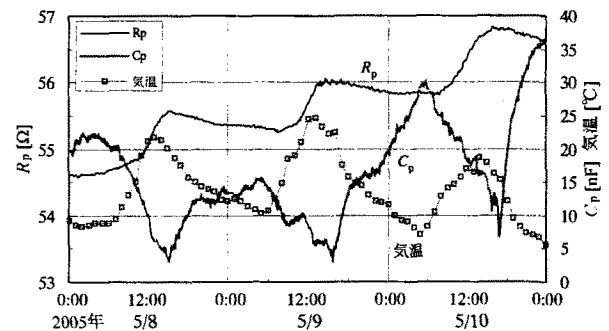


図2 ケヤキ発芽展葉期の日変化

表1 1日のおよその変化率

	休眠期	発芽展葉期
純抵抗 R_p	100%	1%
容量 C_p	150%	160%
大地比抵抗 ρ	2%	1%

Root Response and Water Relations under Water Stress and Mechanical Impedance in Rainfed Lowland Rice

Siopongco, J. DLC.¹, Sekiya, K.², Yamauchi, A.^{*2}, Egdane, J.¹, Ismail, A.M.¹, and Wade, L. J.³

1: International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila Philippines,

2: Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan, 3: University of Western Australia, Crawley WA 6009, Australia

(*Corresponding author: E-mail ayama@agr.nagoya-u.ac.jp)

Drought and hardpan are two of the most important factors influencing crop growth in the rainfed lowlands. To alleviate drought stress, roots may penetrate hardpans and access soil moisture at the deeper soil layers. In response to drought stress, abscisic acid- (ABA) based root signaling occurs when root tips in drying soil communicate with the tops for stomata to close. This study was conducted to determine: (1) whether hardpans under progressive drying conditions could trigger root signals and (2) the possible role of gibberellic acid (GA₃) and indole acetic acid (IAA) as chemical signals. Rice lines CT9993-5-10-M (CT9993) and IR62266-42-6-2 (IR62266) were grown using split-root system in the greenhouse. Their root systems were divided, withholding water from one portion, and in some cases, severing the droughted portion of roots to remove the putative signal. Wax layers of varying hardness were placed at 20-cm soil depth to simulate hardpan in the field. IR62266 exhibited stronger root signals than CT9993 under water stress, and IR62266's stomata and leaf water potential recovered at slower rates, when the portion of its roots subjected to drought was severed. ABA concentration in leaves increased only under drought but not to hard wax, however, the levels of IAA and GA₃ increased in both drought and hard wax. Although root signals were shown by the recovery in stomatal conductance upon severing of droughted roots for both genotypes, their production could not be categorically attributed to mechanical impedance because of the genotypes' similar stomatal and leaf water potential response to wax layer treatments. Further studies are needed to establish the conclusive roles of IAA and GA₃ in rice response to mechanical impedance.

イネ冠根欠損型突然変異体, *cr11*, を用いた地上部—地下部成長関係の解析

西川浩人¹・尾崎祐朗¹・北野英己²・犬飼義明^{1*}

1. 名大院 生命農学, 2. 名大 生物機能開発利用研究センター

(*連絡先 e-mail: inukai@ agr.nagoya-u.ac.jp)

イネやコムギの収量増加は、草丈を低くすることにより耐倒伏性を強化し、かつエネルギー消費を節約し、残った光合成同化産物を出穂後に穂へ速やかに転流させることによりもたらされてきた。このような観点に立てば、条件の良く整った栽培環境下では根量を少なくし、根の成長や維持のためのエネルギー消費量を削減することが収量増加につながるものと期待される。しかしその一方では、日中の光合成速度の低下を防ぐためには、さらに多くの根が必要であるとする研究結果も報告されているなど、作物の生産性向上等を目指した地下部の育種目標は未だに定まっていない。これに関して私たちは、これまでにイネの根の発育に関する数多くの突然変異体を作成・選抜した結果、冠根数が著しく減少するが、幼苗の段階では地上部は原品種である台中 65 号と同様に成育可能である *crown rootless1 (cr11)* 変異体を得た (Inukai *et al.* 2001)。また、*CRL1* 遺伝子をマップベースクローニングにより単離し解析した結果、本遺伝子はオーキシンのシグナル伝達に関与し、またその発現は根形成部位に特異的であることが判明した (Inukai *et al.* 2005)。これらの結果と、オーキシンが様々な器官の発育を制御することをあわせて考えると、*CRL1* 遺伝子は根の発育のみを制御し、地上部諸器官の発育に直接的には関与しないと考えられる。そこで本研究では、*cr11* 変異体を用い、根の成長や維持のためのエネルギー消費量の削減が地上部の成育に及ぼす影響を明らかにすることを目的に解析を進めている。

昨年、水田において *cr11* 変異体を慣行法に従い栽培した結果、地上部の成育は原品種に比べ明らかに劣っていたが、ポット栽培においてはほぼ同様に成育可能であり、また収量も変わらなかった。このことは、ある特定の栽培環境下では、必ずしも原品種が有するような多くの根を必要とはしていないことを意味すると考えられる。そこで本年は *cr11* 変異体を水田にて栽培する際、株当たりの冠根発生数を変化させ、最終的な根量を段階的に増加させることや耐倒伏性を向上させることを目的に、それらの 1 株個体数を 1, 3, 6 および 9 個体の 4 段階に変えて移植した。その結果、現時点では 1 株個体数の増加に伴い株当たりの冠根発生数が増加する傾向が得られている。今後は蒸散量や成長速度、出穂前の同化産物の穂への転流量、収量・収量構成要素等を調査するとともに、炭素の同位体を用いて、光合成により新たに植物体内へ取り込まれる炭素の量や分布様式、および呼吸によって失われる同化炭素量について解析することにより、慣行栽培下での個体の生産性向上にとって理想的な根の量について検討する予定である。

Inukai, Y. *et al.* (2001) *Breed. Sci.* 51: 123-129.

Inukai, Y. *et al.* (2005) *Plant Cell* 17: 1387-1396.

バスケット法を用いた根の伸長角度が異なるコムギ品種のスクリーニング

小柳敦史¹⁾, 小林浩幸¹⁾, 村中 聡²⁾

¹⁾ 東北農業研究センター, ²⁾ IITA

(tel: 024-593-5151, e-mail: oyanagi@affrc.go.jp)

コムギの種子根は5~6本で、傾斜重力屈性により斜め下方向に伸びていく。筆者らはこれまでに、寒天培地を用いた2日苗の実験で、種子根の傾斜重力屈性には品種間差異があり、北日本の品種は根が下向きに伸び、関東以西の品種は横向きに伸びる傾向があることを明らかにしている。この方法で各品種の生育後期の根の垂直分布の様相を推測することは難しいが、7日苗を使うバスケット法の結果は、生育後期の根系分布の様相をよく反映し、種子根の伸長角度が大きい品種ほど深根性を示すことが分かっている。しかし、これまでにバスケット法で検定された品種は少なく、寒天培地法で得られた地理的な変異があるかどうかも分かっていない。そこで、今回、国内外の202品種を用いて、種子根の伸長角度についてのスクリーニングを行うと共に、この特性に地理的な変異が見られるかどうか調べた。

材料と方法

国内のコムギ59品種及び海外のコムギ143品種(中華人民共和国、韓国、旧ソ連、アメリカ合衆国、オーストラリア、中央アジア諸国、ヨーロッパ諸国等)を供試した。国内の品種については、主として農研機構に保存されている種子を用いた。また、海外の品種については、主に農業生物資源研究所のジーンバンクに保存されている種子を分譲いただき供試した。福島市にある東北農業研究センターの自然光型人工気象室において2004年10月から2005年5月に、供試品種を24品種ずつのグループに分けて繰り返し実験した。1/5000 a ワグネルポットに家庭用のザルを組み合わせて土を入れ、中央部の深さ1 cmの位置に種子を各3粒播種した。20°Cで7~8日間生育させ、根が出たザルの目の位置を記録した。なお、これまでの実験結果から、種子根の伸長角度の平均値は、観察された種子根数と一定の負の相関関係にあることが分かっているため、種子根が1個体あたり4本観察された時点での平均角度の推定値を求め「根の伸長角度」とした。

結果と考察

供試品種の種子根の伸長角度は38.9~69.4°(各品種2反復の標準偏差の平均値は3.2°)と大きな変異を示した。伸長角度が最も小さかったのは九州の品種であるシロガネコムギで、この品種については、これまでも類似の結果が得られている。一方、伸長角度が最も大きかった品種はインドのCHHOTI LERMA (ACCE NO. 00024250)、次いでオーストラリアのRosella (66.1°)、インドのV 878 (66.0°, 同00024249)、中華人民共和国の通州小白玉 (65.7°, 同00024054)の値が大きかった。これらのうちRosellaの根の伸長角度は、これまでの筆者らの実験でも安定して大きな値を示していた。供試品種を育成地や原産地で分類して調べたところ、国内では九州の品種が小さな伸長角度を示し(平均50.6°)、東北の品種が大きな値を示した(同56.2°)。この結果は、寒天培地法で得られていた知見と一致した。一方、海外の品種では地理的変異が判然としなかった。

以上のように、多数の品種を用いたスクリーニングの結果、浅根性のコムギ遺伝資源としてシロガネコムギ、深根性のコムギ遺伝資源としてRosellaを選定した。

イネ・コアコレクションを用いた根組織構造の形態変異に関連する染色体領域の検出

宇賀優作^{*1)}, 江花薫子¹⁾, 福岡修一¹⁾, 河・眞琴¹⁾, 阿部淳²⁾, 森田茂紀²⁾, 奥野員敏¹⁾¹⁾ 農業生物資源研究所ジーンバンク、²⁾ 東京大学大学院農学生命科学研究科(*連絡先e-mail: yuga@affrc.go.jp)

【緒言】栽培イネ(*Oryza sativa* L.)は異なる水環境への適応を反映して、品種間にさまざまな根の形態変異が存在する。一般に、陸稲は水稲よりも根長や根の太さなどが大きいことが知られており、それら根系形態の変異に関わる量的形質遺伝子座 (QTL) は多数報告されている。また、中心柱や後生木部導管の大きさなど根組織構造についても品種間差がみられるが(寺島ら 1987)、これらの形態変異に関する遺伝子座については明らかでない。そこで、本研究では根組織構造の形態変異に関わる遺伝子座を同定するため、イネ・コアコレクションの根組織構造を調査し、得られた表現型と染色体上にマッピングされたRFLPマーカーの遺伝子型との関係から、それらの形態変異に関連する染色体領域の検出を試みたので報告する。

【材料および方法】材料には当研究室で作成した世界イネ・コアコレクション66品種を用いた。コアコレクションは、農業生物資源ジーンバンクに保存されている世界各地のイネ約3万点からパスポートデータに基づいて選ばれた332品種より、147個のRFLPマーカー座の対立遺伝子の多様性を90%以上カバーするように選定されている(小島ら 2003)。これらの品種各5個体を茨城県つくば市の畑圃場で6月下旬から8月上旬まで6週間栽培し、生育の揃った3個体の根系を掘り起こした。水洗後、発根が始まった最上節から下2節目の成熟した根を各個体3本ずつ選び、FAA液にて固定した。固定した根の横断徒手切片を作成し、染色後、デジタル顕微鏡を使って撮影した。画像から根面積、中心柱面積、後生木部導管の面積および数を計測した。つぎに、66品種のうち形質データの得られた61品種の表現型と147個のRFLPマーカー座の遺伝子型との関連性を調べた。なお、供試した61品種は、ジャポニカ14品種とインディカ47品種に分類される(小島ら 2003)。

【結果および考察】顕微鏡観察の結果、インディカとジャポニカ間で根面積と後生木部導管数は頻度分布の変異幅に明瞭な違いはみられなかった。一方、中心柱面積や後生木部導管面積、後生木部導管面積/数比、中心柱面積/根面積比はジャポニカ品種群でより大きな値を示す品種が観察された。とくに、中心柱面積/根面積比はジャポニカ14品種内で二頂分布を示し、比の小さいグループ(n=9)と大きいグループ(n=5)の2つの品種群に分かれた。そこで、これら2つの品種群間でRFLPマーカー座の遺伝子型頻度が異なる領域を調べたところ、第4染色体の長腕部に中心柱面積/根面積比に関連する領域を発見した。この染色体領域には根の太さに関するQTLも報告されており(Price et al. 2002)、根組織の直径に関して重要な役割を持った遺伝子が存在することが考えられた。そこで、今回使った品種からF₂集団を作成し、中心柱面積/根面積比に関連する遺伝子座の同定を進めていく予定である。

Genotypic variation in growth and porosity development in rice roots grown under well aerated and stagnant water cultures

Roel R. Suralta, Yoshiaki Inukai and Akira Yamauchi*

Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

(*Corresponding author: ayama@agr.nagoya-u.ac.jp)

Several water-saving systems for rice production (e.g. saturated soil culture, alternate wetting and drying, ground cover systems, systems for rice intensification and aerobic rice) have shown a great potential to save water, but with a yield penalty to various extents. Common feature of these systems is an alternate period of aerobic and waterlogged soil conditions which may require the ability of roots to adapt sudden oxygen deficiency to be followed by drought stress. This study examined the genotypic variation in growth and porosity development by comparing indica and japonica cultivars grown in transient stagnant relative to continuously aerated water culture. Koshihikari and Nipponbare (*japonica* types) and Kasalath (*indica* type) were planted and grown under well aerated water prior to oxygen deficiency imposition. One week after planting, half of each genotype remained in continuously well aerated water while the other half was transferred to deoxygenated water containing 0.1% (w/v) agar for 7 days. For all genotypes tested, exposure of roots to stagnant agar water culture increased shoot biomass production. Shoot biomass was 8.5 mg plant⁻¹ for Koshihikari, 9.6 mg plant⁻¹ for Nipponbare and 6.6 mg plant⁻¹ for Kasalath. These shoot biomass values, relative to continuously aerated water culture, were significantly higher by 54% in Koshihikari and Nipponbare but not in Kasalath (25%). Root porosity (w/w) under stagnant agar water culture was 15% for Koshihikari and Nipponbare and 12% for Kasalath; an increase of 73, 55 and 21% respectively, relative to continuously well aerated water culture. The genotype with higher root porosity increments under stagnant agar water culture also attained longer total length of adventitious roots (91 cm plant⁻¹ for Koshihikari, 78 cm plant⁻¹ for Nipponbare and 59 cm plant⁻¹ for Kasalath) and more number of lateral roots (1173 plant⁻¹ for Koshihikari, 914 plant⁻¹ for Nipponbare and 609 plant⁻¹ for Kasalath). These results showed that Koshihikari and Nipponbare have higher ability to adapt sudden oxygen deficiency than Kasalath when subjected to transient aerated-stagnant water conditions. Hence, CSSL (chromosome segment substitution lines) derived from either Koshihikari X Kasalath or Nipponbare X Kasalath combinations can be used for precise identification and elucidation of physiological functions of quantitative trait loci (QTL) adapted to transient aerobic-waterlogged soil conditions.

Genotypic variation of rice root development in response to temporal fluctuation of water conditions

Hong Wang^{1,2}, Yoshiaki Inukai² and Akira Yamauchi^{2*}

(1. Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100081.

2. Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University)

* Corresponding author: ayama@arg.nagoya-u.ac.jp

The plastic response of roots is one of key traits for the plant adaptation to fluctuating soil moisture conditions. This study aimed at examining genotypic variation of rice root development in response to temporal fluctuation of water conditions. Two rice cultivars, CT9993-5-10-1-M (abbreviated as CT9993 *japonica*, upland adapted) and IR62266-42-6-2 (abbreviated as IR62266, *indica*, lowland adapted) were grown in an environmentally-controlled growth chamber. The seeds were sown on the upper end of the filter paper sandwiched by the plastic packs, which were soaked in either water (non-stress) or water with 80g/L PEG 6000 (water stress conditions). After 7 days, the growth of root systems was recorded as the images through scanning. Then, a half of the plants were continuously grown under the same conditions, while the rest were transferred to the other conditions, i.e. from non-stress to water stress condition and *vice versa*, and were grown for another week. When harvested at 14 days, the root systems were scanned again. The root length was measured with NIH software through analyzing the image. The nodal and lateral root numbers were counted. The growth of seminal nodal roots of CT9993 were promoted when the plants were grown first under PEG stressed conditions and then non-stress condition compared with continuously PEG-stressed condition, while such responses were not found in IR62266. The number of lateral roots including L type and S type of lateral root per unit length of seminal root axis in both genotypes was not enhanced by the stress removal, although more new lateral roots were produced, which was associated with the elongation of the seminal and nodal roots under non-stress condition following water stress. Differences were observed in growth and development of the existing seminal and nodal roots, and the newly produced roots between IR62266 and CT9993 in response to the temporal variation of water conditions.

A population of doubled-haploid lines (DHLs) derived from the cross of IR62266 and CT9993 is now being grown with this modified plastic pack pouch method to identify the QTLs related to the plasticity of root systems of rice in response to the fluctuating water conditions.