

## 第25回 根研究集会 発表要旨

2006年10月7日 (土)

富山大学理学部 (五福キャンパス)・A242教室

### 根研究会賞受賞講演

<学術特別賞>

「根系の迅速調査法及びマルチカラー染色法の開発」

村上敏文 ( (独) 東北農業研究センター)

<学術奨励賞>

「ヒノキ根系における細根の生活環の異質性と生態系機能」

菱 拓雄 (京都大学大学院・農学研究科)

### 口頭発表

テオシントZ. *luxurians*が持つ根の通気組織形成能を支配する新たなQTL 大森史恵<sup>1\*</sup>, 間野吉郎<sup>1</sup>, 高溝正<sup>1</sup>, Bryan Kindiger<sup>2</sup> (1畜産草地研究所, 2USDA-ARS)

The use of berberin and fluoro yellow for confocal laser scanning microscopy of plant roots. Jun Abe<sup>1\*</sup>, Alexander Lux<sup>2</sup>, Ichirou Karahara<sup>3</sup>, Akane Yamakage<sup>3</sup> (1AE-Bio, The University of Tokyo, 2Comenius University in Bratislava, 3Department of Biology, The University of Toyama)

土壤乾燥ストレスに対するイネ根系の可塑的発育反応の役割に関する定量的評価の試み 狩野麻奈<sup>1</sup>, 犬飼義明<sup>1</sup>, 北野英己<sup>2</sup>, 山内 章<sup>1\*</sup> (1名古屋大学大学院生命農学研究科, 2名古屋大学生物機能開発利用研究センター)

モンゴル国の作物生産における深根の重要性について (仮題) 伊藤博武 (東京農業大学生物産業学部)

林床環境の異質性に対する樹木根系の反応 -倒木内に進入した樹木根の形態- 土井裕介<sup>1</sup>, 森 章<sup>2</sup>, 武田博清<sup>1</sup> (1京大院農, 2サイモンフレーザー大)

樹木根が森林水動態に及ぼす影響 久米篤 (富山大学大学院理工学研究科)

有機物施用条件下におけるトマト根系の特徴 中野明正 (独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所)

「Hydraulic liftを利用した植物で植物を灌漑する技術」プロジェクト紹介 (仮) 関谷信人<sup>1\*</sup>, 張喜英<sup>2</sup>, 村中聡<sup>3</sup>, 荒木英樹<sup>4</sup>, 矢野勝也<sup>1</sup> (1名古屋大学大学院生命農学研究科, 2中国科学院農業現代化研究所, 3国際熱帯農業研究所, 4山口大学農学部)

どの方向にリン資源が存在するかをトウモロコシは知っている? (仮) 久米貴志, 関谷信人, 矢野勝也 (名古屋大学大学院生命農学研究科)

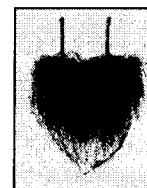
**報 告 (第25回根研究集会発表要旨)**
**ポスター発表**

- 植物スプリンクラー機能の種間比較 (仮) 水本有紀, 関谷信人, 矢野勝也 (名古屋大学大学院生命農学研究科)
- キュウリ根の水分屈性におけるオーキシンおよびオーキシン排出キャリアの役割 諸橋恵太, 柿本洋子, 宮沢 豊, 藤井伸治, 高橋秀幸 (東北大・院・生命科学)
- 共焦点レーザー顕微鏡を用いたシロイヌズナの根における内皮細胞の発達の解析 山影茜, 唐原一郎 (富山大学大学院理工学研究科)
- 畝内条施肥がキャベツの根系分布, 窒素吸収および窒素動態に及ぼす影響 ~第2報~ (仮題) 菊地 直 (野菜茶業研究所)
- 不耕起乾田直播水稲栽培に関する研究  
-前作の切株における根圏環境と出芽の関係- 井戸川潤<sup>1</sup>, 西浦芳史<sup>2</sup> (1大阪府立大学農学部地域環境科学科, 2株式会社 有光工業)
- 負帯電微細水滴環境によるナスの不定根形成 西浦芳史 (大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)
- Early infection process of *Lotus japonicus* by *Mesorhizobium loti* strain TONO - a microtubule perspective. Francine Perrine-Walker (International Christian University)
- マングローブの根の構造と機能に関する研究 (仮題) 本間知夫<sup>1</sup>, 地下まゆみ<sup>1</sup>, Alexander Lux<sup>2</sup>, 阿部淳<sup>3</sup> (1千葉科学大学・危機管理学部, 2スロバキア・コメニウス大学, 3東京大学大学院・農学生命科学研究科)
- 窒素施肥がスギ人工林の細根動態に与える影響 野口享太郎<sup>1</sup>, Bodan Konôpka<sup>2</sup>, 阪田匡司<sup>1</sup>, 金子真司<sup>1</sup>, 高橋正通<sup>1</sup> (1森林総研, 2スロバキア森林研)
- トマトのロックウール栽培における生育制御のための培養液管理法 中野有加 (野菜茶業研究所)
- 栽培体系が異なる圃場での作物根圏の微生物相の比較(その2) 土肥哲哉<sup>1</sup>, 児玉五月<sup>2</sup>, 阿部淳<sup>2</sup>, 森田茂紀<sup>2</sup> (1西原環境テクノロジー, 2東京大学大学院農学生命科学研究科)
- QTL analysis for root penetration ability in DH lines derived from a cross between a paddy rice, Koshihikari and an upland rice, Sensho. Dang Quy Nhan<sup>1</sup>\*, Naoki Matsuo<sup>1</sup>, Soe Thaw<sup>1</sup>, Tkuo Ando<sup>2</sup> and Toshihiro Mochizuki<sup>3</sup> (1Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, 2National Institute of Crop Science, 3Faculty of Agriculture, Kyushu University)
- ダイズにおける二次通気組織形成に関与する量的形質遺伝子座の検出 梶原さゆり<sup>1</sup>, 古賀孝志<sup>2</sup>\*, 鳥飼芳秀<sup>1</sup>, 梶原良徳<sup>1</sup>, 山崎敦子<sup>1</sup>, 島村聡<sup>4</sup>, 原田久也<sup>5</sup>, 望月俊宏<sup>3</sup> (1九大農, 2九大大学院生物資源環境科学府, 3九大大学院農学研究院, 4作物研, 5千葉大)
- ソラマメ種子根の湛水処理による成長及び形態の観察 小林奈々<sup>1</sup>\*, 高橋三男<sup>1</sup>, 仁木輝緒<sup>2</sup> (国立東京工業高等専門学校, 2拓殖大学)
- 土壌栽培条件下での湛水、低酸素濃度、エチレン曝露によるトウモロコシ根の生理・形態学的変化 仁木輝緒 (拓殖大学・工学部)

## 根系の迅速調査法及びマルチカラー染色法の開発

村上敏文

( (独) 東北農業研究センター E-mail durian@affrc.go.jp)



植物の根は、養水分の吸収をはじめ、多くの役割を担っており、その生態を調べることは、非常に重要な研究課題といえる。しかし、根は土壤中を複雑に展開しており、最も基本的な重さ、長さですら、測定には多大な労力を要し、研究の進展が阻害されている。さらに、植物はふつう2個体以上の根が入り組んで生育しているが、それらを区別して根間の相互作用を調べる研究はほとんど進んでいない。そこで私は、できるだけ少ない労力で、(1)根を土壤から分離し、重さや長さを測定する、**迅速調査法**、および(2)根を染めて複数の根を区別する、**マルチカラー染色法**の開発を行い、研究推進上の障害を軽減しようとした。

## (1)迅速調査法

根を、硬く密着した土壤から分離するには、これまで、水中で根を洗い出すか、様々な薬品液に浸して土を柔らかくすることなどが試みられてきた。しかし、水のみで根を洗い出すには多くの時間と労力がかかり、薬品の使用もそれほど効率が高いとは言えず、廃液の処理も問題となる。そこで私は、土壤に水または湯を加えて電子レンジで煮沸して、根と土壤を簡単に分離する方法を考案した。煮沸は、根から土を取り除く効果の他に、土の中の粗大有機物を容器の底に沈め、浮遊する根と分けやすくする効果がある。これによりゴミの少ないきれいな根を得ることが容易になった。また、根長測定のための交差点法を迅速化するため、格子部分のみ透明になった交差点数板を考案し、測定に要する時間を従来の交差点法に比較して30%短縮した。本法は、レタス、ハクサイ、ソバ、コムギ、ダイズ、トマト、キュウリ、水稻など多くの作物で利用可能であり、また、灰色低地土、腐植質黒ボク土、淡色黒ボク土で利用できることを確認している。

## (2)マルチカラー染色法

隣接する植物の根を区別して分布を調べるには、これまで、色や形で区別する方法、根の位置を透明シートに描き写す方法、根をアイソトープで標識する方法などが提案されている。しかし、いずれも膨大な手間がかかる。そこで私は、切断した茎から染色液を根系に注入することにより、根全体を染色する方法を開発した。これは、土壤をできるだけ乾燥させ、植物地上部を数cm残して切除し、市販の切り花着色液(ファンタジー、パレス化学)に0.5~5気圧の圧力をかけて注入するものである。染色後、土壤を分割して採取し、電子レンジで加熱して染料の色を固定し、色ごとに根を集めて重さや長さなどを測定すれば、各株の根の分布を明らかにできる。本法の利用により、例えば、混作や間作などでは複数の根の相互関係が明らかになり、施肥位置や灌漑位置改善などの技術開発につながると期待される。

以上の方法は、根の事典、農業技術体系土壤施肥編、学会誌等で公表し、また個人のホームページ上で公開しており、詳しいマニュアルもダウンロードできるようになっている。

(ホームページアドレス <http://www.h2.dion.ne.jp/~barnaba/>)

最後に、今回の受賞にあたり、ご推薦をいただいた皆様、共同研究者の皆様ならびに実験を手伝っていただいた皆様に、心よりお礼を申し上げます。

## ヒノキ根系における細根の生活環の異質性と生態系機能

菱 拓雄 (京都大学大学院・農学研究科)

(E-mail: tak@kais.kyoto-u.ac.jp)

森林生態系では植物が生産する枯死遺体が分解され、無機養分が再び植物に供給される養分物質の内部循環が卓越している。このなかで細根は樹木における土壌養分獲得機能を有すると同時に、土壌分解基質の大半を供給する生態系機能を持つ。細根が土壌への有機物供給にどれくらいの影響を与えているかは、基本的に細根の成長、枯死、分解量の推定によって把握される。

修士過程の時、京都のヒノキ林生態系における地下部の物質循環を理解するため、連続コア法を用いて、細根量の季節消長を調べた。観察からは毎年、綺麗な新しい根が生まれていたにもかかわらず、ヒノキの細根量は季節でほとんど変わらなかった。全くガツカリしたものである。この過程から予測されたのは、ヒノキの細根は量的な一定性を保ちながら、成長、枯死、分解というイベントが同時に起こる動的平衡状態にあるだろうということであった。細根量が動的平衡状態にある場合の細根生産量推定は困難であることが多くの研究から知られていた。このイベント同時性の問題を解決する方法として、ミニライゾトロンによる定点観測を用いて、個根を単位とする個体群として根量動態を把握する手法が一般的となってきた。一方で私は、地上の枝系において光合成能、成長特性、葉寿命などが、葉と枝といった構造面から説明されているのに興味を持ち、細根がどのように成長・枯死し、分解するのか、個根の機能の組み合わせで表現される根系構造の面から理解することで細根動態研究を別の側面からみることができると考えた。それにミニライゾトロンを買うお金がなかった。そこで私の博士課程での研究は、(世界の流れとは関係なく、)細根の基本的な成長・枯死・分解様式を根系構造の発達や維持と関連させて調べることにした。

連続イングロースコア法により、二年間にわたって発達段階の異なる細根系を採取し、そこから得られる個根の解剖特性を調べた。結論として、ヒノキ細根系を構成する個根には原生木部の違いによって生活環における違いがあり、先端に配置された二原型の根ほど枯死しやすく、基部に配置された四原型の根ほど二次成長に移行し、枯死しにくい根であることが分かった。

このように、森林生態学者はこれまでサイズによって類別した「細根」を生理的に同一な器官と仮定してきたが、本研究では分枝構造に従って、寿命・機能において異なるユニットの組み合わせで構成されていることを示した(詳しくは菱(2006)を参照)。今後、樹木細根の生産・枯死様式が、量的変動だけでなく、個根の解剖特性と根系内での分布構造や、吸収機能の維持様式から解明されていくことが期待される。

参考:菱 拓雄 2006. ヒノキからみた樹木細根系内の生活環における異質性と生態系機能 根の研究 15(1): 5-10.

テオシント *Z. luxurians* が持つ根の通気組織形成能を支配する新たな QTL大森史恵<sup>1\*</sup>・間野吉郎<sup>1</sup>・高溝正<sup>1</sup>・B. Kindiger<sup>2</sup> (1. 畜草研, 2. USDA-ARS)

(\*連絡先: huehue@affrc.go.jp)

## 【はじめに】

私たちは湿害に強いトウモロコシ系統の育成を目指して研究を進めている。耐湿性を高める要因として、根の通気組織の発達、地表の不定根形成、土壌の還元により生じる有害物質に対する抵抗性などが知られている。それらのうち通気組織形成能は過剰水分により生じる低酸素状態に対する重要な適応要因のひとつと考えられている。トウモロコシの近縁種であるテオシント *Z. luxurians* は通常栽培条件下 (非湛水条件下) においてすでに通気組織が形成されていることが報告されている (Ray et al 1999 *Maydica*, Mano et al 2006 *Plant Soil*)。この特性を持つことによって、長雨や集中豪雨などにより生じる急激な過剰水分ストレスに対してすみやかに適応できるのではないかと考えられる。本研究ではトウモロコシとテオシント *Z. luxurians* の幼植物を供試して非湛水条件下における通気組織形成能の量的形質遺伝子座 (QTL) 解析を行った。

## 【材料および方法】

実験にはトウモロコシ自殖系統 B73 (NILGS 保有) とテオシント (*Z. luxurians*, PI1441933 USDA) との交雑 F<sub>2</sub> 集団 195 個体を供試した。両親および F<sub>2</sub> 個体を 1/10000a のポットに 1 個体ずつ 6 葉期まで通常栽培条件下で生育させた。下位から 2 番目の節根 2 本について、マイクロームで切片をつくり通気組織を観察した。通気組織の大きさは 0 (無), 0.5, 1, 2 (甚) の 4 段階で評価した。これまでの実験で B73 は節根のいずれの部位においても通気組織は形成されなかったのに対して、*Z. luxurians* は根端から 10-15cm の部位において通気組織が観察されたため、通気組織形成能の評価はこの部位のスコアの平均 (2ヶ所/根, 個体あたり計 4ヶ所) を用いた。表現型のデータと 97 の SSR マーカーにより作成したほぼ全ゲノムをカバーする 1365cM の連鎖地図を用いて QTL 解析を行った。LOD スコアが 3.6 以上を有意な QTL とした。

## 【結果および考察】

B73 x *Z. luxurians* の F<sub>2</sub> 集団において通気組織形成能は連続変異を示し、本形質は複数の遺伝子に支配されている量的形質の可能性が示唆された。Composite interval mapping によって通気組織形成能に関連する QTL の位置と効果を推定したところ、第 2 染色体に有意な QTL が見出された (LOD=5.1, a=-0.15, d=0.10, r<sup>2</sup>=0.11)。また、第 3 染色体, 第 5 染色体, 第 9 染色体および第 10 染色体に作用力の小さい QTL (LOD が 2.0 以上) が見出された。これらはいずれも *Z. luxurians* の対立遺伝子が通気組織形成能を高めるものである。これまでの私たちの研究で、テオシント *Z. nicaraguensis* の第 1 染色体 (2ヶ所) に通気組織形成能に関連する QTL が見出されている (間野ら 2006 育種学研究)。今回見つかった QTL はいずれもそれらとは異なる位置に座乗していたことから通気組織形成を支配する新規の QTL であると言える。現在戻し交雑によりこれらの QTL をトウモロコシ B73 へ導入することを進めている。

## The use of berberin and fluorol yellow for confocal laser scanning microscopy of plant roots

Jun Abe<sup>1\*</sup>, Alexander Lux<sup>2</sup>, Ichirou Karahara<sup>3</sup>, Akane Yamakage<sup>3</sup>

<sup>1</sup>AE-Bio, The University of Tokyo

<sup>2</sup>Comenius University in Bratislava

<sup>3</sup>Department of Biology, University of Toyama

(\* E-mail: JunAbe@agrobio.jp)

Various stains are used recently for confocal laser scanning microscopy. Some are adaptation of stains used in animal cytology. On the other hand, there are several stains that have been already established for the detection of some cell wall components in UV fluorescence microscopy. Berberin and fluorol yellow are useful stains for developmental studies of plant root endo- and exodermis in fluorescence microscopy. Use of such stains in confocal laser scanning microscopy may enable "pseudo-histochemistry". In this study, we tried to find out a permeable fluorochrome for clear visualization of endodermis inside of intact thin roots in side view. We also aimed to find out clear and contrast stains for freehand cross sections enabling the histological study of plant roots on the base of different cell wall composition of individual cells and tissues.

### Materials and Methods

Seedlings of *Arabidopsis thaliana*, peanut (*Arachis hypogaea*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) were grown in agar, vermiculite, wet-filter paper or solution culture. Root segments and freehand cross sections of primary or lateral roots were stained by berberin solution (0.1% berberin sulfide in water, lactic acid or PEG600) or fluorol yellow solution (0.01% fluorol yellow 088 in lactic acid or PEG600). These staining methods, and clearing for some of the samples, followed the methods for UV fluorescent microscopy (Lux et al. 2005). Combination with FM4-64 or propidium iodide staining, which visualizes all cells, was also examined. The stained whole mount root segments and cross sections were observed by a confocal laser scanning microscope (Olympus, Fluoview FV1000) mostly using 488 nm line of an argon laser.

### Results and Discussion

Confocal laser scanning microscopy using berberin and fluorol yellow as stain visualized lignified and suberized cell walls successfully. Although some difference in the effects of these stains was found among species, fluorol yellow staining often showed specificity for suberin lamellae, whereas berberin staining was less specific with exhibiting overall staining of cell walls in matured and maturing parts of roots probably due to highly sensitive detection of lignification. Double staining by berberin in water solution or fluorol yellow in PEG solution with FM4-64 or propidium diiodide provided clear images of whole cell arrangement and location of lignified and suberized cell walls. Lactic acid often disturbed staining by FM4-64 or propidium diiodide. Side view of whole mounted *Arabidopsis* roots and thin lateral roots of rice and wheat successfully exhibited location and network of matured endodermis labeled by berberin or fluorol yellow in the whole root structure visualized by FM4-64 or propidium diiodide. In apical part, however, the meristematic cells were intensively stained not only for cell walls but also the cell content by berberin and fluorol yellow. Confocal laser scanning microscopy of cross sections provides clear contrast and balance of stained cell walls depending on the various chemical composition of the wall. The contrast of berberin and fluorol yellow staining was often clearer and the stability of fluorol yellow fluorescence was higher than those in UV fluorescent microscopy. In addition, confocal laser scanning microscopes provide clear images even for hand sections with irregular thickness by accumulating images of sequential layers of the section. These advantages facilitate the studies of roots in the view of histology and functional morphology.

**Acknowledgement:** This study is a part of the research project supported by the Grant-in-Aid for Scientific Research (No. 17380010). We thank Dr. Junko Kyojuka (The University of Tokyo) for providing us the opportunity to use confocal laser scanning microscope, and Mr. Masaru Fujimoto (The University of Tokyo) for the instruction of the FM4-64 staining.

**Reference:** Lux A., Morita S., Abe J. and Ito K. 2005. An improved method for clearing and staining free-hand sections and whole-mount samples. *Annals of Botany* 96: 989-996.

[The presentation will be given in Japanese. 発表は日本語で行います]

## 土壌乾燥ストレスに対するイネ根系の可塑的発育反応の役割に関する定量的評価の試み

狩野 麻奈 1\*, 犬飼 義明 1, 北野 英己 2, 山内 章 1

(1 名古屋大学大学院生命農学研究科, 2 名古屋大学生物機能開発利用研究センター)

(連絡先: ayama@agr.nagoya-u.ac.jp)

イネの乾燥ストレスに対する適応性は、根系発育に関わる可塑性と密接に関連していることが分かってきた (狩野ら、2006b)。そこで本研究では、日本晴/Kasalath の戻し交雑によって作成された染色体部分置換系統群 (計 54 系統) を用い、土壌乾燥ストレスに対する根系の可塑的な発育反応と地上部乾物生産との関係を検討することで、その役割を定量的に評価しようとした。

【材料と方法】ビニールハウス内の圃場に土壌水分勾配を発生させる装置を設置し、日本晴と置換 54 系統すべての幼苗 (25 日齢) を 2005 年 7 月 19 日に移植した。この装置では、土壌含水率約 50% から 10% の間で連続的な勾配が形成され、各列に 8 個体を 20 cm 間隔で植え、系統当たり 3 列反復した。移植後 50 日目に、地上部ならびに根系を採取し、地上部乾物重およびルートスキャナーを用いて総根長を測定した。置換 54 系統のうち、水耕系で 2 週間生育させた幼植物の根系発育が、日本晴との間で差がない系統を選んだ。その中から、ポリエチレングリコール溶液の水ストレス条件によって、根系発育が有意には抑制されなかった系統 (系統 45 番、系統 50 番) と、逆に強く抑制された系統 (系統 13 番、系統 34 番) (狩野ら、2005) を選抜し、次のように可塑的反応の役割を定量化した。まず、地上部乾物重と総根長について、系統毎に、生育した位置の土壌含水率が最も高いものから 5 番目まで (約 40% 以上) の個体と、それと最も近い土壌含水率の範囲で生育した日本晴の 5 個体とを比較したところ、系統 45 番、系統 50 番、系統 34 番では両形質ともに有意差がないことを確認した。一方、系統 13 番では日本晴との間で、総根長では水耕系と同様に差がなかったが、地上部乾物重には 5% 水準で有意差が認められたので、評価対象から外した。そしてそれぞれについて、総根長と土壌含水率との関係を 2 次式で回帰し、総根長における日本晴との差を、各置換系統の根系が発揮した可塑的反応の程度とした。さらに、地上部乾物重についても同様の差を計算し、その根系の可塑性程度に対する比をもって、根系の可塑的反応の地上部乾物生産に対する貢献程度を評価した。

【結果と考察】日本晴では乾燥ストレス強度が大きいほど地上部乾物生産の抑制程度も大きく、総根長の抑制程度も大きかった (狩野ら、2006a)。系統 34 番は、圃場条件下では、日本晴と比較して総根長、地上部乾物生産ともに、土壌含水率が 20% から 40% の範囲ではやや上回ったが、20% より強い乾燥ストレス条件下ではより強く抑制された。一方、系統 45 番と系統 50 番は、圃場条件下では、土壌含水率が約 40% 以下の範囲で、総根長、地上部乾物生産ともに日本晴を大きく上回った。このように、根系発育に関わる可塑性の程度は土壌水分によって変化することが明らかとなった。すなわち、総根長の促進程度は土壌含水率 30% 前後で最大となった。一方、根系の可塑的反応の地上部乾物生産に対する貢献程度は、根系の可塑性が発揮されると考えられる土壌含水率が 20% から 40% の範囲で、系統 45 番および系統 50 番では、土壌含水率に関わらずほぼ一定であったが、系統 34 番では乾燥ストレスが強くなる程低下した。以上のように、染色体置換系統群を用いることによって、根系発育に関わる可塑性程度の地上部生育に果たす役割を定量的に示すことが可能となり、その程度は系統間によって異なることが明らかとなった。現在、さらに詳細な根系発育の可塑性程度の定量と、乾物生産に関わる水吸収量などの定量を通じて、その役割に関するより正確な定量的評価を試みている。本研究で供試した置換系統群は、農業生物資源研究所イネゲノムリソースセンターから分譲を受けた。

## 【引用文献】

狩野ら、2005、根の研究 14:198

狩野ら、2006a、日作紀 74 (別 1): 188-189

狩野ら、2006b、根の研究 15: 81

## モンゴル国の畑作農業における深根の重要性について

伊藤博武\*<sup>1</sup>・L. Davaa<sup>2</sup>・吉田穂積<sup>1</sup>・中丸康夫<sup>1</sup>・小松輝行<sup>1</sup>・横濱道成<sup>1</sup><sup>1</sup>東京農業大学生産学部・<sup>2</sup>モンゴル国立農業大学

(\*連絡先 E-mail: h-ito@bioindustry.nodai.ac.jp)

モンゴル国の畑作農業では、春播きコムギ、ジャガイモおよび外来の野菜を生産している。中世以来の二圃式農業による畑作農業では、その生産性は世界の中で最も低い水準へ落ち込んでおり、放棄畑が増加している。同国は外貨の獲得をカシミア生産に頼っており、過放牧による国土の荒廃も懸念されている。東京農業大学とモンゴル国立農業大学は1996年の姉妹校締結依頼、農業や諸産業の現状分析と砂漠化防止に関する調査を進めてきた。現在、両大学の共同プロジェクトでは、エコロジカルバランスを考慮したモンゴル国だからこそできる生物産業の構築を目指している。その第一歩として、2005年8月中旬、モンゴル国立農業大学のトゥフ県ボルノル郡のナルト農場にて、気候、地形、土壌および畑作物の根系分布を調査した。

**畑作農業地帯の気候：**ユーラシア大陸でも海洋から遠く離れた内陸部にあるモンゴル国は、大陸性の気候である。5~9月に降水が集中し、秋から冬にかけての降水量が少なく、土壌の貯水量は多くない。降雨による水供給が比較的多い北部で畑作農業が盛んである。その北部では厳冬期が長く、気温が-35℃になる場合もあり、3~4mの深さまで土壌が凍結する。したがって、越年性作物の栽培は不可能である。日平均気温が5℃以上となる日数は80~130日程しかなく、一年生の作物にとってみて生育が可能な期間が長いとはいえない。

**地形と生育状況：**2005年6月15日に播種した乾燥に強いとされるブロムグラスは、6月18日~7月18日の間に降雨が無く、発芽しなかった。また、当農場では成人男性のひざによく届くほどに成長した春播きコムギが収穫適期を迎えようとしていた。粒はやせ細り、さらには穂数も少ないことから、その収量は100kg10a<sup>-1</sup>にも満たないと推測される。ジャガイモ、エンバクおよびソバなどの生育をみても、北海道でのバイオマスに比べれば、数分の一程度と容易に判断できた。一方、当農場の地形をみると、河岸流域部と一段高くなった丘陵部に大きく分けられる。ブロムグラスのみを丘陵部に播種し、その他の作物は河岸流域部で栽培している。

**土壌と根系分布：**春播きコムギの生育が平均的な地点を選び、大きさ1m<sup>3</sup>の穴を掘り、土壌と根系分布を調査した。典型的なシルト質よりなる沖積土壌であった。低地の軟らかい土を約1m掘り下げるとやや湿った土の層が認められた。根系の垂直分布を調べたところ、土壌が深くなるほど根量は減少したものの、根は深さ1mまで到達していた。

**農耕史と遺構から：**モンゴル国土の6万haの圃場には灌漑を用いた跡がある。紀元前3~4世紀から、軍隊、寺社や皇族の食料を供給するために農作物が栽培された。ナルト農場でも、用水路の遺構が認められた。農場周辺には草原が広がっており、緑のダムといえる森林はない。現在、農場の横を流れる河川の水量はわずかであり、枯れ上がった用水路を再利用する計画もない。当国では乾燥化がますます深刻になっていることを示している。

**まとめ：**同国の畑作農業では、水不足が最も深刻な問題である。広大な農地を必要とする春播きコムギなどの食用作物に対する灌漑は技術的に可能であっても、地下水の資源量が未知数であり、また設備投資などの面からみても不可能である。本調査の結果からも理解できるように、現状で収穫物を得るためには深根による土壌水分の吸上げが重要であろう。



## 林床環境の異質性に対する樹木根系の反応

## —倒木内に進入した樹木根の形態—

土井裕介\*<sup>1)</sup>, 森 章<sup>2)</sup>, 武田 博清<sup>1)</sup><sup>1)</sup> 京大院農, <sup>2)</sup> サイモンフレーザー大

(\* e-mail: doidoi@kais.kyoto-u.ac.jp)

## はじめに

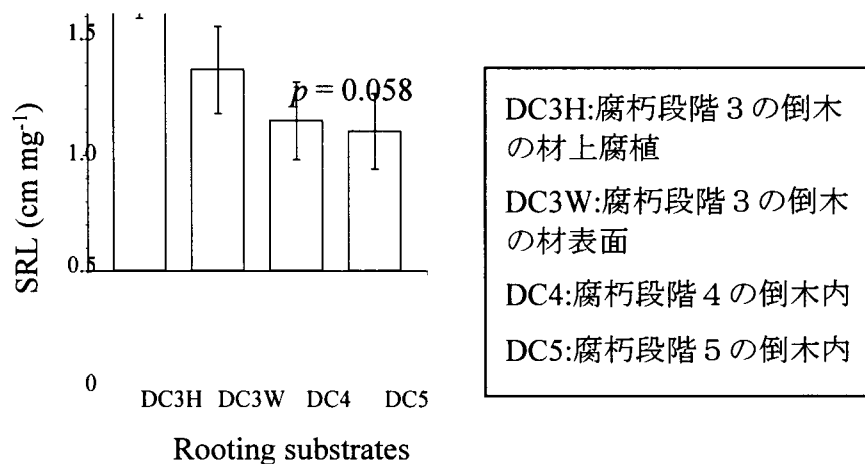
森林生態系において、林床は、様々な部位、分解段階の植物遺体が堆積している。そのため、水分・硬さ・養分といった環境の異質性は非常に高い。植物の根は、このような土壌環境の異質性に対して、成長量・形態生理的特性・菌根菌の種などを変化させている。ところで、貧栄養環境の倒木内にも多くの樹木根が進入している (Vogt et al. 1995)。倒木が林床に占める面積割合は、針葉樹の成熟林では14-25%にも達する (Harmon et al. 1986)。本研究は、腐朽段階や部位が倒木内に侵入する樹木根の形態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 方法

調査は針葉樹が優占する御嶽山の亜高山帯老齢林 (2,050 m) において行った。倒木の腐朽段階 (1~5) は Sollins (1982) の定義を参考にし、根の進入の始まる腐朽段階3から、心材もほとんど腐っておりほとんど土に近い状態の腐朽段階5の倒木を対象とした。各腐朽段階の倒木を1本ずつ選択し、幅20 cmのディスクをサンプリングした。サンプル内から根系を全て洗い出し、その内5個については基部直径、根長、根重を計測した。根の形態的指標として比根長 (根長 / 根重比) を計算した。腐朽段階3の倒木に進入している根については、材上の腐植に発達している根系と、材の表面に発達している根系に分けた (根の進入基質の略記は下図を参照)。

## 結果と考察

基質間で根系の基部直径に有意差は見られなかった (One-way ANOVA;  $p = 0.146$ )。しかし、腐朽段階の増加に伴い、比根長は DC3H > DC3W > DC4 > DC5 の順に減少した (One-way ANOVA;  $p = 0.058$ )。比根長の値が大きいことは、同じ根の形成コストでより根長の大きい根系を発達させていることを意味する。根長が増えるほどより広い面積の資源探索が可能となることから、腐朽の進んでいない倒木内ほど資源探索に優れた根系を発達させていることが示唆された。また、腐朽段階3の倒木の中でも、腐植層に発達している根よりも、材の表面に発達している根の方がより資源探索に優れた根系がされている事が示唆された。このように本調査地の針葉樹では、林床基質の異質性に対応した比根長の根系をさせていることが明らかになった。

図 さまざまな基質における根系の比根長 (SRL; cm mg<sup>-1</sup>)

## 樹木根が森林水動態に及ぼす影響

久米 篤

富山大学大学院理工学研究科 (akume@sci.u-toyama.ac.jp)

森林土壌中における水の流れには、土壌粒子の性質によって決まるいわゆる土壌透水性以外の要因が大きく影響している。山地の森林斜面などの地下部の特徴の一つは、畑や平野の土壌のように均一ではなく、様々な点で不均一であることにある。大量の樹木根系（生根・腐朽根）、地表面における様々な形状・量のリターの堆積、地表面土壌のクラスター形成や撥水性、地中の小動物の活動や雨水の集中により形成される大小の孔隙（パイプ）、土層内に点在する転石（礫）、地震に起因したクラック等は、不均一性要素として作用する。土層内が均一であれば、Richards 式による飽和—不飽和浸透流理論によって解析的に土壌水の挙動を精度よく定量的に評価することが可能であるが、多くの森林において、これらの理論が当てはまらない事例が報告されている。

地下部への根表面を介した水移動量はかなり大きい（あるいは速い）。土壌断面における実測実験や、着色水を用いた浸入実験の結果が示しているように、根の存在自体がその周辺に水移動経路を発生させるという現象は、様々な樹木や森林において観察されている。多くの樹木において、降雨時に根表面の早い水移動を利用して自分の根の周辺の土壌の含水率を上昇させ、蒸散用の水資源として確保していることが示唆されている。また、樹木根圏周辺において、日中に顕著な乾燥が観測される。樹冠からの大量の蒸散を考えれば、樹木が存在することによって樹木の下で土壌が常に乾燥傾向にあることは当然のことであるが、その一方で、根が存在した状態で蒸散が停止した場合、すなわち森林伐採や山火事、病虫害などによって地上部に深刻なダメージが生じた場合には、吸水が停止する上に、枯死根がパイプとして機能して土壌中に大量の水を送り込み、地下部の水文過程に大きな変化を引き起こし、斜面崩壊などの要因になることが予測される。

土壌表層の保水性や透水性の違いによって根系の深さの意義は大きく変化する。透水性の高い裸地から植生が発達していくと、土壌表面に有機物が蓄積し保水能力が向上するため、降水は表面に停滞しがちになり、土壌深部への水浸入量は大幅に減少する。一方、樹冠において降水を樹幹流に集中させることは、自身の根圏への水供給の重要なバイパスとして機能する。すなわち、遷移の進行においては、元々の土壌構成要素の性質とそれに対応した根の発達、さらには地上部の発達に伴う土壌の発達や降雨浸入経路の変化というように、複雑な水文学的相互作用が生じている。根の存在が水移動経路の変化に及ぼす影響についての定量的な評価は重要であり、森林の地下の水移動様式の解析は、森林における遷移と種多様性を理解するための重要な鍵になる。

参考文献 森林水文学編集委員会編 森林水文学 —森林の水のゆくえを科学する— 森北出版  
(印刷中)

## 「有機物施用条件下におけるトマト根系分布の特徴」

中野明正・上原洋一 (Akimasa Nakano and Yoichi Uehara)

野菜茶業研究所 (National Institute of Vegetable and Tea Science)

anakano@affrc.go.jp

## 【はじめに】

トマトなど果菜類では連用をしていない場合、有機質肥料のみでは肥効が要求量に追い付かず肥料切れを生じる。これら早い肥料供給速度が要求される作物に対して、肥料を効率的に吸収させるためには、有機物を施用した場合の根系分布の特徴を明らかにする必要がある。現在まで、施肥の違いが根系分布に与える影響についてはモノリス法で圃場の根系を採取した事例があるが、根箱を用いた検討事例は少ない。特に野菜の根系に与える影響に関する知見が少なく、根箱などで根系全体を評価した事例はない。本研究では比較的大型の根箱を用い、有機質肥料が根系に与える影響を化学肥料と比較することにより評価した。

## 【材料及び方法】

化学肥料を施用した化学区と有機質肥料を施用した有機区を設定した。化学区は CDU 化成 S222 (12-12-12) とカルシウムとマグネシウムはマグカル (白石カルシウム) を、1株あたりそれぞれ 12g, 3.6g を混合し施用した。有機区は、牛糞堆肥と鶏糞堆肥を、1株あたりそれぞれ 87.6g と 44g を混合し施用した。根箱 (内法 2×71×89cm) の底部から約 2/3 の層には、長年栽培を行っていない裸地圃場の土壌を 5mm のふるいを通した後充填し、その上の 1/3 を施肥層とした。2006年5月1日にセルトレイに播種したトマト (桃太郎) を同年5月24日に根箱に定植し、同年7月15日に栽培を終了した。灌水は 0.5L/日としてドリッパーで行った。根系を採取する前に、深さ 15, 30, 50, 70cm 地点から約 4g の土壌を採取し土壌含水率を測定した。その後、土壌塊を目合い 1cm (縦横 1m) の金網の上に展開し、根系形態を保持した状態で土壌を洗い流した。得られた根系は、上部から約 15cm 毎に切り分け 6 つの層とした。それぞれの根系を 5cm 程度に切断し混合後、一部を採取して MacRhizo V3.10A (REGENT INSTITUTES 社製) を用いて太さ別根長を測定した。根長測定後、根を乾燥し重量を測定した。

## 【結果及び考察】

有機物を施用することにより土壌の透水性が上昇し、化学区に比べ有機区の方が下層へと水が浸透しやすくなった。その結果、化学区および有機区の深さ指数は 40cm および 44cm となり、根の分布も有機区で下層の方が多くなり深い根を形成した。総根長は化学区で 636m、有機区で 578m と化学区で長かったが、平均の根の太さは化学区で 0.31mm、有機区で 0.38mm であり、深さにかかわらず有機区において全体的に太い根系が形成されていた。未熟の有機液肥 (CSL) を少量ずつ連続的に施用する有機養液土耕においてもその根系は化学液肥に比べ同程度の割合で太くなっていた。完熟堆肥施用においても、同様に太くなることが明らかとなり、有機物施用により根が太くなる共通の機構が存在する可能性が示唆された。

**プロジェクト紹介 : Hydraulic lift を利用した植物で植物を灌漑する技術**

関谷信人<sup>1\*</sup>・張喜英<sup>2</sup>・村中聡<sup>3</sup>・荒木英樹<sup>4</sup>・矢野勝也<sup>1</sup>

1 名古屋大学大学院生命農学研究科, 2 中国科学院農業現代化研究所,

3 国際熱帯農業研究所 (IITA), 4 山口大学農学部

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

ある種の深根性植物では、地下水を吸い上げては乾いた表層土壌にその水を放出する現象 (hydraulic lift) が観察されている。放出された水はその植物自身に再吸収されるだけでなく、隣接して生育する浅根性植物によっても吸収利用される。すなわち、hydraulic lift を灌漑技術として利用できる可能性がある。

私たちは、これを『植物スプリンクラー』と名付け、農業や緑化事業における灌漑技術へ発展させることを目的に新たな研究プロジェクトを開始した。それは、植物の新しい利用価値を追求し技術化しようとするものである。さらに、開発途上国で伝統的に行われてきた「間作・混作」を応用した技術であることから、そうした地域に暮らす農家でも持続的に実践可能なものだと考えられる。本プロジェクトは、平成 17 年度産業技術研究助成事業 (NEDO 技術開発機構) から研究助成を受け、具体的な達成課題として以下の 3 点を掲げている。

課題 1 : 複数種の深根性植物を水供給能力に着目してランキングし有望種を選抜する。

課題 2 : ランキングの結果をナイジェリアと中国の畑で検証する。

課題 3 : 『植物スプリンクラー』の節水効果を予測するモデルを作成する。

これまでに、人工気象室内でのランキング試験が終了した (課題 1)。15 種類の植物を用意し、プランターを 2 層に積み上げ、上層には砂を、下層には水を入れた容器で栽培した。上下層で十分に根が発達するまで生育させた後、地上部を切断して蒸散による水吸収を停止させた。その状態で下層の水が減少した場合、それは hydraulic lift によって下層の水が上層へ移動したことを意味する。したがって、下層の減水量を植物間で比較すれば、植物を hydraulic lift 能によりランキングすることができる。その結果、幾つかの有望種を選抜した。

ランキング試験の結果を受けて圃場試験を開始した (課題 2)。ナイジェリアは年平均気温が高いため高温下でも生育可能な候補植物を播種し、中国は年平均気温が低いため低温下でも生育可能な候補植物を播種した。現在、各地の研究者が圃場の管理を行っている。

今後は、圃場試験の結果に基づき、節水モデルを作成していく予定である (課題 3)。

謝辞 : 北海道農業研究センターの辻博之氏、田瀬和浩氏、奥村健治氏には、深根性植物に関する様々な情報をご提供頂きました。ここに記して謝意に代えさせていただきます。

## どの方向にリン資源が存在するかをトウモロコシは知っている？

久米貴志・関谷信人・矢野勝也

名古屋大学大学院生命農学研究科 (kyano@agr.nagoya-u.ac.jp)

植物が利用する資源は、土壌中では不均一に分布しているのが普通である。移動の自由を持たない植物は、不均一に分布する資源を獲得するための戦略を具えている。例えば、有機物や肥料を土壌中で局所的 (パッチ) に与えると、著しい根の増殖がそこで観察される。このような根の可塑性な根の増殖は、一見すると資源獲得のための合理的な振る舞いに見えるが、その個体に常に有利となるとは限らない。つまり、根の増殖には物質やエネルギーの投資が必要であるから、新たに増殖した根がそのコストに見合うだけの資源を獲得できたときにはじめて適応的な振る舞いとなりうる。例えばパッチが小さくて、増殖した新しい根がパッチの外に配置されてしまうような場合、コストに見合うだけの資源を獲得できず、かえって根を増殖させなかった方が個体としては有利となる可能性もある。

同量のリンを与えた土壌であっても、パッチサイズが小さくなるにつれてトウモロコシの成長量は低下する (Yano & Kume 2005)。このような結果が生じるのは、小さなパッチでは増殖した根が外部にまで伸長し、コスト過剰に陥るためだと考えられる。そうであれば、パッチの外部にまで根が過剰に増殖できないよう土壌に仕切を導入すれば、パッチサイズに依存することなく全ての根がリン獲得に貢献できるはずである。その結果、パッチサイズに伴う植物成長量の変化も消失するだろう、と予想して実験を行った。

実際に検証してみると、予想に反して、土壌に仕切を入れても入れなくても、その成長量はパッチサイズが大きくなるほど高まる結果となった。ただし、仕切を入れるとリン獲得量も成長量も増加したことから、無駄な根の増殖を無くす効果は認められた。土壌中でほとんど移動できないリンの獲得量は、根の長さに支配される。リンパッチ内部に存在する根の長さを調べた結果、仕切を導入しない場合と同様に仕切を導入した場合であっても、パッチサイズが大きいと根長も大きくなっていることがわかった。

サンプリング直前の観察で、大きなパッチサイズに仕切を導入した個体では、パッチ内部に向けてより多くの節根が発育しているように見受けられた。調べてみると、パッチ外部と内部とでは、節根の太さや伸長した数に個体内で明らかな偏りが認められた。すなわち、仕切に左右されない茎から節根をパッチ内部に優先的に伸長させたことが、さらなる根長増加に貢献した可能性がある。この根長増加がリン獲得量を増加させ、仕切を導入した条件でも成長を促進させた原因と考えられる。この結果は、トウモロコシがその茎において、どちらの方向にリンが豊富に存在しているのかを感知し、それに応じて節根の発育を調整できることを示している。

一方、同サイズのパッチ間で比較した場合、仕切の有無で根長に有意な差異は認められなかった。根長に差が無いにも関わらず、個体全体のリン獲得量は仕切の導入で有意に増加していたことから、パッチ内部における根のリン吸収能 (単位根長当たりのリン吸収量) が異なっていたことになる。通常、外部リン濃度を倍増させると根のリン吸収能 (単位根長当たりのリン吸収量) も倍増すると考えられるが、仕切を導入した場合のパッチ内部における根のリン吸収能はこの期待値とよく一致した。ところが、仕切を取り除いた場合の根のリン吸収能は、期待値の半分を下回るほど低いものであった。おそらく、一本の根軸がリンパッチの内部と外部の両方に遭遇すると、リンに乏しいパッチ外部にある根の部位が影響して、リンが豊富なパッチ内部にある根部位のリン吸収能も抑制されるのかもしれない。

以上の結果、少なくともトウモロコシにおいては、茎レベルでどこにリンが多く存在しているかを感知して節根の発育を調整可能であること、さらに、ある根軸上で発揮される根のリン吸収能はそれが直接遭遇する外部環境 (土壌リン濃度) に依存するだけでなく、その根軸の他の部位が経験する外部環境の影響を被ることが示唆された。この両者は遠隔的応答という点で共通しており、リンやそれに付随したシグナルが関与する systemic な制御系も視野に含め、さらなる研究が必要と考えている。

Yano K & Kume T (2005) *Plant Production Science* 8: 427-432.Kume T, Sekiya N & Yano K *Annals of Botany* (in press).

## 植物スプリンクラー機能の種間比較

水本有紀・関谷信人・矢野勝也

名古屋大学大学院生命農学研究科 (kyano@agr.nagoya-u.ac.jp)

## 【はじめに】

深根性の植物は、蒸散を停止する夜間に、根系を介して深層土壤の水を乾いた表層土壤へと移動させている。この現象は Hydraulic Lift (HL) と呼ばれ、表層にもたらされた水は近隣の植物にも利用されている可能性が高い。筆者らのグループは、HL 現象を積極的に制御することで植物を灌漑手段として活用する、という植物スプリンクラーのアイデアを提唱し、その実用化のための研究を行っている。本研究では、植物スプリンクラーとして利用可能性のある植物種の選抜を目的とし、根を乾いた上層部と湿った下層部におけた状態で、上層・下層の水重量の変化を測定することにより、植物スプリンクラー機能の大小を種間で比較した。

## 【材料および方法】

サンヘンブ・キマメ・ギニアグラス・スミズブROOMグラス・トールフェスク・シロクローバーの6種の植物を供試した。縦 10cm×横 32cm×深さ 10cm のプラスチック容器に砂 3.5kg を充填し、容器の端に各植物を播種した (上層部)。この容器の底の一部 (2.5×10cm) には、予め穴を開けておき、根の一部は後述する下層部にも伸長できるようにしておいた。この容器の下には、中に水を満たした同型のプラスチック容器 (下層部) を置いた。上層部・下層部それぞれに施肥・灌水しながら 10~13 週間生育させ、上層部・下層部に根が十分発達したことを確認してから地上部を切除した。地上部切除直前に上層部の水分含量を圃場容水量とした後、灌水を停止した。その一方で、下層部の水量は一定に保った。経時的に上層部と下層部の重量をそれぞれ測定して水分含量の変化を調べた。また、上層部および下層部からの水の蒸発量を調べるため、植物を植えていないコントロール区も設けておいた。

水分含量の経時変化の測定終了後、コントロール区も含めた各上層部にヒマワリを播種し、水分含量を圃場容水量に維持した。子葉が出そろった後灌水を停止し、灌水停止後 3 日目に赤外線熱画像撮影装置でヒマワリの熱画像を取得した。

## 【結果および考察】

上層部含水量の経時変化をみると、コントロール区では蒸発によって減少し続けたのに対し、ギニアグラス区・トールフェスク区・シロクローバー区ではほぼ圃場容水量を保ち続けた。一方、サンヘンブ区・キマメ区・スミズブROOMグラス区の含水量は低下を続けたが、その速度はコントロール区よりも遅かった。下層部の水量変化では、サンヘンブ区・キマメ区・スミズブROOMグラス区に比べて、ギニアグラス区・トールフェスク区・シロクローバー区の減少が大きく、上層部からの蒸発量に応じて水が減少していた。これらの結果から、供試したいずれの植物種も HL によって下層部から上層部へと水を供給していたが、その水供給能には種間差が存在すること、ここで用いた方法でスプリンクラー機能の種間差を比較的簡便に調査できることが示された。

また、赤外線熱画像解析の結果、ギニアグラス区とサンヘンブ区のヒマワリ葉温がコントロール区よりも明らかに低く、ギニアグラス・サンヘンブのスプリンクラー機能が高いことが示唆された。しかし、キマメ区とコントロール区とのヒマワリ葉温を比較すると、その差異は顕著でなく、スプリンクラー機能は低いことが明らかであった。この熱画像解析の結果は、上記の含水量の経時変化とも一致しており、熱画像解析を利用すればより簡便にスプリンクラー機能の定性的評価も可能と思われた。

以上の結果から、供試した植物6種の中では、ギニアグラス・トールフェスク・シロクローバーの水放出能が高く、植物スプリンクラーとして利用できる可能性が高いと考えられた。

## 【謝辞】

本研究は、平成 17 年度産業技術研究助成事業 (NEDO 技術開発機構) からの支援を受けたものであり、ここに記して謝意を表します。

## キュウリ根の水分屈性におけるオーキシンとオーキシン排出キャリアの役割

諸橋恵太\*・柿本洋子・宮沢 豊・藤井伸治・高橋秀幸

東北大学大学院生命科学研究科

(\*E-mail: moro@ige.tohoku.ac.jp)

## [ 背景および目的 ]

固着性生物である植物は、様々な環境刺激に応答し、生存に有利な形態形成をおこなう。このような植物の環境への適応能力の一つとして、屈性があげられる。重力屈性により植物の根は重力方向へ、茎は反重力方向へと屈曲する。また、植物は自身の生育に必須である水分を効率的に獲得するために、養水分吸収の主要器官である根を水分の多い方へと伸長させる水分屈性能をも有している。根の重力屈性発現経路については古くから研究されており、根冠で重力刺激が感受された後、植物ホルモンの一つであるオーキシンがそのキャリアタンパク質を介して偏差的に分布する結果、根の偏差成長が引き起こされ、屈曲反応が生じることが明らかにされている。一方、水分屈性について、我々はこれまでに、根冠で水分勾配刺激が感受されることを明らかにするとともに、水分屈性の発現時に根の伸長領域においてオーキシンが偏差的に分布することを示唆してきた。しかしながら、水分勾配刺激が、偏差的オーキシン応答を導くメカニズムや、そのオーキシン応答の水分屈性における役割は未だに解明されていない。そこで本研究では、キュウリ根の水分屈性におけるオーキシンの寄与および、その動態制御を明らかにするために、種々のオーキシン関連阻害剤を用いた解析をおこなった。さらに、水分屈性発現時の偏差成長がオーキシンの偏差的分布を伴うものであることを明らかにするため、オーキシン応答性遺伝子である *CsIAA1* をプローブとして、根の根端における組織レベルでの遺伝子発現を解析した。

## [ 結果および考察 ]

水分屈性発現時のキュウリの芽生えを固定し、オーキシン応答性遺伝子である *CsIAA1* をプローブとして、*in situ* hybridization をおこなった。その結果、*CsIAA1* の発現シグナルは、低水分側と比較して、高水分側の根端付近において強く観察された。このことから、キュウリ根の水分屈性の発現は、水分勾配刺激によって誘導されるオーキシンの不等分布を伴うことを確認した。

また、キュウリの芽生えに対し、オーキシン排出キャリア阻害剤である TIBA、NPA、HFCA、オーキシン取り込みキャリア阻害剤である CHPAA、1-NOA、オーキシン作用阻害剤である PCIB を処理し、それらの水分屈性に対する影響を調べた。その結果、高水分側への根の屈曲角度は、無処理区のものと比較して、PCIB の処理により約 35% にまで低下した。これは水分屈性反応において、オーキシンが必須因子であることを支持するものである。さらに、キュウリ根の水分屈性は、オーキシン排出キャリア阻害剤である TIBA の処理により約 15% にまで低下し、同じく排出キャリア阻害剤である HFCA 処理によっても約 19% にまで低下した。これらの結果より、キュウリ根が根端で水分勾配刺激を感受し、オーキシンの偏差的応答が引き起こされるまでの経路には、オーキシン排出キャリアタンパク質を介した高水分側へのオーキシン輸送の関与することが示唆された。

前回までに報告したシロイヌナズナの根の場合に比較すると、キュウリおよびシロイヌナズナのいずれの根においても、オーキシン動態が水分屈性に重要な役割を果たすが、その動態制御機構は植物種によって異なる可能性がある。

尚、本研究課題は生研センター基礎研究推進事業により実施されたものである。

共焦点レーザー顕微鏡を用いた  
シロイヌナズナの根における内皮細胞の発達の解析  
—染色法の改良—

山影 茜\*・唐原 一郎

富山大・院・理工・生物

(\*E-mail : m0540312@ems.u-toyama.ac.jp)

根系の形作りは個根の形態形成がベースとなっており、個根の形態形成は根端分裂組織での細胞分裂およびそれに引き続く細胞伸長・細胞分化の過程によってもたらされる。環境要因が根の形態形成に及ぼす影響を細胞レベルで明らかにするためには、これらの個々の過程に着目して明らかにする必要がある。これまで、細胞分裂及び伸長に関しては、キネマティック解析などのすぐれた方法が確立されているが、細胞分化まで視野に入れた解析方法は確立されていなかった。種子植物の根の内皮細胞の細胞壁には、リグニンやスベリンが沈着したカスパリー線が形成され、アポプラストバリアとして根の物質輸送に重要な役割を果たしているため、その発達に環境要因が与える影響について古くから注目されてきた。そこで筆者らのグループでは、内皮細胞の分化の過程に環境要因が与える影響を定量的に評価することを目標として、カスパリー線の形成を指標とし、細胞分裂・伸長・分化を同時に定量的に評価する方法の確立に取り組んできた。

モデル植物であるシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* L.) の根は細胞構成が単純であり、インタクトの根の場合、アポプラストレーサーであるヨウ化プロピジウム (PI) を用いて根を染色し、共焦点レーザー顕微鏡を用いて蛍光観察することで細胞の形を生きたまま可視化できること、内皮細胞の産生速度を迅速かつ簡便に測定することが可能であることを私たちは前集会で報告した。しかし、塩分ストレスを与えた根の先端部においては、インタクトの根と同じ条件ではうまく PI を用いて染色できないことが課題となっていた。一方で、従来の方法により組織を透徹し、蛍光顕微鏡観察することでカスパリー線を形成した内皮細胞の数 (カスパリー線の網の数) を計測できるため、これにより求めたカスパリー線を形成した細胞の増加速度を指標として内皮細胞の産生速度を推定することができる。そこで前回の報告ではこの方法を用いて、塩分ストレス下で生育させた根における内皮細胞の細胞産生速度を推定した。しかしこの方法では、細胞の長さを測定することができないという問題もかかっていた。そこで本研究では、塩分ストレスを与えた根においても、全細胞数を計測することで正確な細胞産生速度を測定すること、および細胞の長さを測定することを目標とし、塩分ストレスを与えた根を PI で染色するための染色条件の検討を行った。その結果、PI を含んだ寒天培地を作成し、芽生えをその上に静置しておくことで根のアポプラストが適切に染色されることがわかり、この方法を用いて、細胞分化に加えて細胞分裂・伸長についても定量的に解析することが可能となったのでその結果を報告する。



## 畝内条施肥がキャベツの根系分布、窒素吸収および窒素動態に及ぼす影響

## — 第 2 報 —

菊地 直

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 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)

露地野菜栽培では一般に多肥の傾向にあり、資源の効率的活用面のみならず、環境保全的見地からも野菜の養分吸収パターンに適合した精密な養分管理技術の開発が求められている。これまでに、被覆肥料の畝内条施肥を全層施肥と組み合わせることで、慣行の全面全層施肥と比べ、施肥窒素利用率が向上し、窒素溶脱量も減少することを報告した。本報告では、より環境への負荷を低減するため、減肥と畝内条施肥が、キャベツ生育・窒素吸収・根系分布および土壌中の窒素動態に及ぼす影響について調査を行い、キャベツの窒素要求特性に即した効率的な窒素供給方法について検討を行った。

## 【材料および方法】

セル育苗したキャベツ(‘松波’)苗を、中央農業総合研究センター内圃場に9月6日に定植した(株間30cm、畝間60cm、畝高20cm)。肥料は被覆肥料(ロング424-40)を用い、慣行(全面全層)、減肥全層(全面全層)、減肥上部局所(75%を全層、25%を10cm深に条施用)、減肥下部局所(75%を全層、25%を20cm深に条施用)、無窒素区(PK化成のみ)を設けた。施肥量は慣行30kgN/10a、減肥20kgN/10aとした。収穫まで約2週間ごとにキャベツ地上部を採取するとともに、約1ヶ月ごとに土壌試料の採取を行った。植物体は、乾物重および全窒素含量を測定した。土壌は採土管を用いて株を中心として幅30cm、深さ30cmの範囲を36ブロックに分割して採取した。各ブロックの土壌から根を回収し、フラットベッドスキャナーで画像を取り込み根長等を測定すると共に、土壌試料の一部を用いて硝酸態窒素およびアンモニア態窒素含量を測定し、根系分布および土壌中の窒素動態を調査した。また、キャピラリーライシメータ(1m深)から採取した溶脱水の硝酸態窒素濃度から窒素溶脱量を算出した。

## 【結果および考察】

キャベツ生育は、減肥全層では慣行と比べ全般に低く推移し、収穫時には慣行の60%程度と生育低下が顕著であった。それに対し局所施肥した区では、結球開始期までは減肥全層と同様に慣行区より低く推移したものの、結球開始期以降の生育速度が増加し、特に減肥下部局所では収穫30日前からの生育速度の上昇が著しく、収穫直前の12日間は窒素吸収量も高く維持され、慣行を上回るほど生育が旺盛となったため、収穫時の地上部乾物重は慣行と同等の値となった。収量については、減肥全層区では結球肥大が抑制されたため、慣行の1/2以下に減少したが、局所施用により結球肥大に対する減肥の影響は緩和され、局所施肥区では20%程度の収量低下に留まった。土壌中の窒素分布に対する条施肥の影響は明確ではなかったが、根系分布に対しては施肥方法の影響が認められ、局所施肥区では条施用した付近の根の割合が、生育期間を通して高く推移した。生育後半にはその差が拡大しており、これらの根系分布パターンの違いが、キャベツの窒素吸収パターンの差に影響していると推察された。以上の結果より、キャベツ栽培においては、結球肥大期における窒素供給を維持し、生育量を高めることが収量を確保するために重要であり、減肥によって生じる栽培前半の生育低下を、局所施肥による根系分布・窒素吸収パターンの制御によって補えることが示唆された。特に生育後半の窒素供給が高い株直下深さ20cmの位置への条施肥と全層施肥との組み合わせは、減肥栽培における施肥方法として効果的であることが示された。

## 不耕起乾田直播水稻栽培に関する研究

## —前作の切株における根圏環境と出芽の関係—

井戸川潤<sup>1)</sup>・西浦芳史<sup>1)</sup>・吉田義弘<sup>2)</sup><sup>1)</sup>大阪府立大学農学部、<sup>2)</sup>株式会社有光工業

(nishiura@bioinfo.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに 水稻の移植栽培で必要となる耕耘(天地返し)・碎土・代かき・育苗の作業を廃し、省力化が図られた不耕起乾田直播水稻栽培が一部の地域で行われている。乾田状態の水田土壌に種籾を直接播種して栽培する不耕起乾田直播水稻栽培における播種方法は、主に作溝や部分的な耕耘を施した乾田土壌に播種・施肥・施葉を行うもので、20PS以上の作業機に播種機を取り付けて播種が行われている。ここで、栽培と機械化の観点から萌芽的に我々が提案した播種法は前作の切株直下の根圏内に穴を空けて播種する方式(写真1、写真2、写真3)である。本方式は、10PS程度の乗用管理機での播種が可能であり、この乗用管理機1台に栽培中の様々な管理や収穫機能を付加することで、播種から収穫までの一連の作業が可能となる。現在、播種機能に加えて収穫機能の追加を検討中である。

2. 実験方法 実験①: 本播種方式を実証するために、本大学附属農場において、試作した播種器を用いて、播種・栽培実験(写真4、品種: 'ヒノヒカリ'、播種日 2006年5月21日)を行った。機械製作と栽培の観点から、播種粒数・播種深さ・播種位置の条件を種々に設けた。従来法として、作溝して播種する区を対照区とした。播種後1ヶ月目に各区の切株直径・切株高さ及び出芽数を調査した。実験②: 前作の切株直下の根圏環境と種籾の出芽との関係を明らかにするために、発芽実験を行った。播種穴内の水分環境に着目して、播種穴径を3条件、播種深さを2条件、播種位置を切株中と切株外(株間)に設定して播種を行い、毎日定時に出芽数を調査した。また、種籾周りの土壌の水分状態と出芽の関係を調査するために、土壌水ポテンシャルも計測した。実験③: 発芽の様子を観察するために、切株直下の土壌側面に透明アクリル板を密着させてはめ込み、発芽の可視化実験を行った。播種穴を空けた後に播種する方式に加えて、種籾を土壌に押し込んで播種する方式を試みた。

3. 結果および考察 実験①: 播種後1ヶ月の調査で、浅く播種した区において、播種穴が切株に覆われていない播種穴の出芽率が低かったが、他は順調に生育した。切り株外で覆土せずに播種すると鳥害にあうと考えられる。実験②: 切株中の浅い部分が、切株外と比較して土壌水ポテンシャルが低かった。これは、写真1に見られるように、切株直下の根圏環境は根により土壌間隙が多く(耕されておらず)、空間が十分にあり、土壌水ポテンシャルが低くなりやすいものと考えられる。実験③: 播種穴内で種籾が重なった結果、下段の種籾から発芽・発根する傾向が見られた。これは下段の種籾は上段の種籾に比べ土壌に接する表面積が大きく、土壌から種籾への給水が十分に行われたと考えられる。今回は土壌水ポテンシャルが-78kPa程度で発芽実験を行ったが、過剰な水分条件下では下段の種籾が水没し発芽不良を起こす可能性も考えられ、カルパ被覆しなくても、種籾を重ねることで対応できる。



写真1 切株断面



写真2 切株中への播種



写真3 切株中からの出芽の様子



写真4 実験圃場の様

## 負帯電微細水滴環境によるナスの不定根形成

西浦芳史

大阪府立大学生命環境科学研究科

(nishiura@bioinfo.osakafu-u.ac.jp)

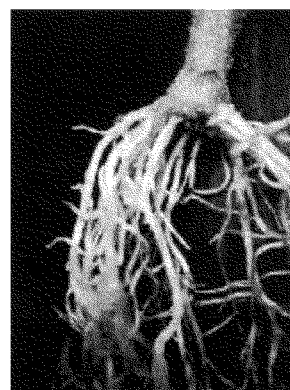
**はじめに** 挿し葉、挿し木、取り木、断根接ぎ木など、不定根形成を促進させる場面が多くある。不定根形成には、オーキシンと糖が重要である。「水挿し」という方法は、ポトスなどに利用されており、断根した茎を水に浸けて挿しておくことで不定根が出る。ただし、水を腐らせないように注意が必要である。根が出るまでは、蒸散作用が活発に行われなことが効果的である。水分を吸収する能力が衰えているために、そのままでも植物は蒸発し、葉がある場合は蒸散により更に多くの水分が失われる。このとき、空気が乾燥していればいるほど失われる水分は多く、高温多湿はカビの発生や腐敗を伴う。植物には分化全能性という性質があるため、理論上は生きている組織ならばどの部分でも可能であるが、若く軟らかい部分は、細胞増殖が活発であるので有効である。また、葉の付け根である節は、新しい芽や根が出やすい。蒸散を押さえるためには、下葉から摘葉する、あるいは半分に切る場合もある。しかし、光合成によるエネルギーや各種ホルモンを獲得するために摘葉せず、芽や根の生長を促進させた方が結果的に成功率が上がる。加湿すると摘葉の必要が無くなる。また、茎の切断面は、斜めに切断し、できるだけ面積を大きくして吸水を良くする。挿し床は、通気・排水性に優れ、清潔であることが求められる。肥料はその吸収により多くのエネルギー消費を伴うことから必要としない。水挿しの場合、動かない水や微生物が繁殖しやすい水温で、根がカビに侵され、腐りやすい。そこで、水質の改善と発根促進のために、水はこまめに換え、雑菌やカビを防ぐための木炭や木酢液、竹酢液や発根促進剤などを入れる。水温が高いと早くに発根するが、カビも発生しやすく、水も腐りやすいため、多少成長が遅くなるが、水温は 20°C 程度が適温とされている。以上のことは、一般に行われている水挿しの方法である。一方、地上部の環境と地下部の環境を隔離して栽培する方法にマルチ栽培があり、土耕及び水耕にも用いられており、それぞれの温度を変えることにより生理活性を変えている。地上部は光と湿度を設定することによりその生育活性を制御している。また、根圏は溶存酸素量や水ポテンシャル (吸収できる水の量) を養液濃度や散水・散気などを用いて制御している。これらのことから、効率的に不定根の発根を促すためには、植物の部位に対して生理活性の促進・抑制をバランス良く制御することが重要である。そこで、温床などにより根部を暖め、茎葉を冷やし、微弱光、高湿度と蒸散抑制とオーキシン生成を促す環境を設定する技術が慣習的に行われている。また、断根接ぎ木は、挿し木よりも接合部の癒合を促進するために、地上部においても茎部と葉部に分けて制御されている。上面から冷却することは葉に対して生理活性を抑制し、茎部に対しては葉がその断熱効果を果たしており、遮光加湿と頭寒足熱が慣例法である。

**方法及び結果** 一般に発根促進剤で挿し木できるとされているナスを内生のオーキシンを利用し、水のみで発根することを目的に、地上部の環境を様々に設定し、地下部は空気を十分に含ませた流水、湛水、保水性の高い培地などを用いて、不定根の発生について調べたところ、湛水では発根せずに腐敗した。保水性の高い培地と空気を十分に含ませた流水で、カルス形成後に不定根の発根が確認できた。

図 ナスの不定根

### 参考文献

- 1986 図解・やさしい果菜の接ぎ木 伊藤克美 社団法人家の光協会  
 1989 まるごと楽しむナス百科 山田貴義 農山漁村文化協会



## EARLY INFECTION PROCESS OF *LOTUS JAPONICUS* CV. GIFU BY *MESORHIZOBIUM LOTI* STRAIN TONO: A MICROTUBULE'S PERSPECTIVE

F.M. Perrine-Walker<sup>1</sup>, H. Kouchi<sup>2</sup> and R.W. Ridge<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology, Division of Natural Sciences, International Christian University, Mitaka 181-8585, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Department of Plant Physiology, National Institute of Agrobiological Sciences, Tsukuba, 305-8602, Ibaraki, Japan

Previous studies by Vassileva and colleagues (2005) demonstrated that microtubules slowed transiently in dynamics to the addition of liposaccharides (Nod factors) in living root hairs of transgenic *Lotus japonicus* cv. Gifu containing the fusion construct of green fluorescent protein and *tubulin-a 6*.

Our aim is to determine how the microtubule dynamics change during three important events needed for successful root hair infection by rhizobia i.e. during root hair curling, infection thread (IT) initiation and IT development/growth inside the root hair.

By creating an early infection developmental map, we have identified various time points when such events occur during the *L. japonicus* – *Mesorhizobium* interaction.

The use of the antimicrotubule herbicide cremart at 10 and 30  $\mu$ M concentrations helped us to identify key physiological events in the root hair cell death i.e. the cessation of cytoplasmic streaming, collapse of cytoplasmic dense regions in zone I and zone II root hairs, nucleus movement due to the collapse of the microtubular cytoskeleton in non-inoculated *L. japonicus* root hairs.

More studies are needed to investigate the dynamics of microtubules in the presence/absence of a microtubule manipulating herbicide, cremart.

### References

Vassileva et al. (2005) Plant Cell 17: 1777-1787

**マングローブの根の構造と機能に関する研究 - 根の断面のSEM像 -**  
**(Study in anatomy and function of Mangrove roots**  
**- SEM images of cross-section of roots - )**

本間 知夫 (Tomoo HOMMA)<sup>1\*</sup>・地下まゆみ (Mayumi JIGE)<sup>1</sup>・

阿部 淳 (Jun ABE)<sup>2</sup>・Alexander Lux<sup>3</sup>

<sup>1</sup>千葉科学大学・危機管理学部 (Chiba Institute of Science)

<sup>2</sup>東京大学大学院・農学生命科学研究科 (The University of Tokyo)

<sup>3</sup>スロバキア・コメニウス大学 (Comenius University, Slovakia)

(\*連絡先 E-mail: thomma@cis.ac.jp)

**【はじめに】**

マングローブは熱帯・亜熱帯地方沿岸の海水や汽水などの塩分を含んだ水域に生育する植物の総称であり、日本ではヤエヤマヒルギ、オヒルギ、メヒルギ、ヒルギダマシなどの種類が知られている。マングローブ植物に見られる大きな特徴として耐塩性があげられ、1) 葉にある塩類腺から塩分を排泄、2) 根で塩分をろ過、3) 体内が多汁質であり塩分を薄める、4) 塩分を古い葉に集めてその葉を落とす、などの塩排斥機能を有する。また環境ストレス耐性タンパク質 (マングリン) をコードする遺伝子も近年単離されている。しかし、マングローブ植物の構造と機能、特に根については不明な点も多いと考えられる。そこで本研究では、演者らがこれまで実施してきた根の構造と機能の解剖学的・生理学的解析をマングローブ植物の根についても適用して調べることを目的とした。

**【実験方法】**

マングローブ植物として、沖縄県西表島にて採集されたメヒルギ (*Kandelia candel* (L) Druce) 胎生種子を、東京農業大学地域環境科学部森林総合科学科・河原輝彦教授より供試頂いた。コンテナに砂あるいは黒土 (有機質) を入れ、水道水を十分に足した後、種子を挿し、温室に置いた。また2lペットボトルの上1/3をカットし、砂を入れ、水道水を足した後、種子1個を挿し、室内に置いた (2006年5月27日実施)。約3ヶ月後より実験に使用した (図1)。

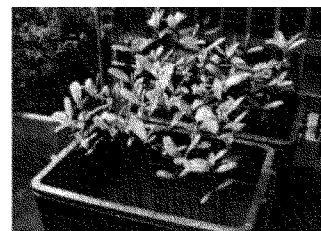


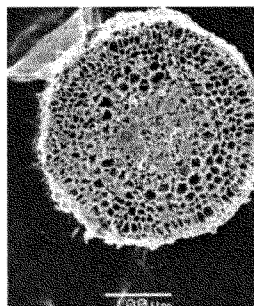
図1：メヒルギ苗

根の構造を調べるために、木化根および白色根の薄切徒手切片を作り、Pt蒸着後、走査型電子顕微鏡 (JEOL, JSM-6480LA) にて内部構造の観察・比較を行った。

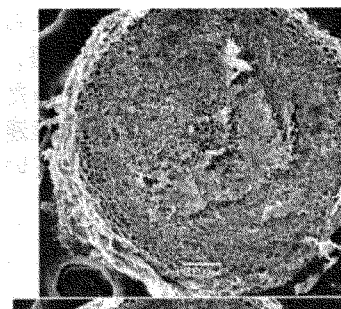
**【結果と考察】**

薄切切片をそのままPt蒸着すると、真空中にさらされて組織の収縮などが起こったが、凍結乾燥を行うことで変形などを避けること出来た。図2に a. 白色根根端、b. 木化根根端のSEM像を示した。

細胞の配列など発達程度に差が見られたが、これがどのように耐塩性 (塩のろ過) と関係があるのか、カスパー線などの発達はどうなっているかなどは、現在調査中である。また、茎に注射針を刺し、液絡法にて生体電位の計測を実施中で、電位の特徴的な日周変動が記録されている。塩に対する応答などを今後調べる予定である。



a. 白色根根端



b. 木化根根端

図2：根端部のSEM像 (写真中のバーは100 μmを示す)

## 窒素施肥がスギ人工林の細根動態に与える影響

野口享太郎<sup>1</sup>・Bohdan Konôpka<sup>2</sup>・阪田匡司<sup>1</sup>・金子真司<sup>1</sup>・高橋正通<sup>1</sup><sup>1</sup>森林総合研究所・<sup>2</sup>スロバキア森林研究所

(連絡先 kyotaro@affrc.go.jp)

## 1. はじめに

樹木の根のうち、一般に直径1–2 mm以下のものを「細根」と呼ぶ。細根は樹木と土壌のインターフェイスとして水分や養分の吸収を担うが、枯死しやすい性質を持つことから土壌への養分供給源としての役割も注目されている。このような性質を持つ細根の生産量は純一次生産の数十%を占めるとも言われ、森林生態系における地上部から地下部への物質の流れを考える際に無視できない存在となっている。しかし、土壌中の細根動態調査は技術的に困難を伴うことが多く、その情報も限られている。最近では地球温暖化問題に関連し、炭素固定機能など森林の生態系機能が注目されているが、これらの森林機能を地下部の物質動態を含めて解明するためには細根動態についての理解を深める必要がある。また、地球温暖化問題と並んで人間活動に由来する窒素降下物の増大が懸念されているが、土壌中の窒素栄養条件と細根動態の関係については不明な点が多く残されている。

そこで本研究では、日本の代表的な造林樹種であるスギを対象として、細根生産量とその季節変動に対する窒素施肥の影響について調査した。

## 2. 調査方法

本研究では、森林総合研究所千代田試験地(茨城県かすみがうら市)に植栽された30年生のスギ人工林を試験地とした。2003年6月に1×2 mのプロットを12個設置し、そのうちの6プロットに2003年10月から毎月1度の頻度で20 Lの10 mM硝酸アンモニウム溶液を散布した。この処理により1年間に施肥区に投入された窒素の量は33.6 g N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>である。残りの6プロットには同量の水道を毎月1度の頻度で散布し、対照区とした。また、2003年10月に各プロットに長さ75 cmのミニライゾトロン(アクリル製透明管:外径5.8 cm)を地表面に対し約45度の角度で1本ずつ設置した。2004年6月から2005年10月までミニライゾトロンカメラ(BTC-100X, Bartz Technology)を用いて月に2回の頻度でミニライゾトロンの表面を撮影し、画像中の細根の長さや直径を画像解析ソフトウェア(WinRHIZO Tron MF, Regent)を利用して解析した。

## 3. 結果と考察

本研究の結果、窒素施肥によりスギの細根生産量は増大した。2005年1–10月における施肥区の細根生産量は182 g m<sup>-2</sup>で対照区(19 g m<sup>-2</sup>)の約10倍であった。このように施肥に対して明瞭な反応を示した原因の1つとして、本研究では小面積に施肥を行ったため養分に富むパッチができ、そこに細根の生産が集中した可能性が考えられる。また、2005年における細根の生産速度は3月頃増加し始め、3度の成長ピーク(4月, 6–7月, 9月)を示した。この細根生産の経時変動パターンに対する窒素施肥の影響はほとんど見られなかった。これらの結果は、土壌の窒素栄養条件がスギの細根生産の総量を制御する要因となるが、細根生産速度の経時(季節)変動は、主に他の環境要因または生理的要因により制御されていることを示唆している。

ロックウール栽培の培養液管理がトマトの生育、養水分吸収および  
出液速度に及ぼす影響中野有加<sup>1</sup>・漆山喜信<sup>2</sup>・中野明正<sup>1</sup>・高市益行<sup>1</sup>

1; 野菜茶業研究所, 2; 宮城県農業園芸総合研究所 (yuka88@affrc. go. jp)

トマトの生産ではロックウール栽培の普及が進んでいるが、現在の培養液管理（濃度管理法）では草姿制御が難しく収量と果実品質を高く維持できない上に、排液によって環境汚染を招くおそれがある。そこで、作物に必要な量の養分を1日単位で与える量的管理法によって、草姿制御による良品収量の向上と施肥量削減をめざす。本実験では、ロックウール栽培において、培養液管理の違いがトマトの生育、養水分吸収および出液速度に及ぼす影響について明らかにする。

## [材料および方法]

トマト‘麗夏’を3月6日に播種し、4月12日にロックウールスラブに定植した。少量区、中量区（少量区×1.25）、多量区（少量区×1.5）の各量的管理区、濃度管理区（慣行）の計4区とし、各区15株2反復を設けた。濃度管理区はEC0.6~1.1dS/mの養液を用いて30%排出を目標にかけ流し管理を行った。量的管理区は朝5時に1日分の養分を含む養液を与え、その後は循環タンク（0.95L/株）内の液を濃度管理区と同量を与えた。循環タンク液の減少分は、水位センサで水を補充した。量的管理区の1日当たり養分施用量は、吸水量を指標として生育に応じて適宜調整した。8月9日まで果実を収穫し、収量を調査した。栽培終了時に地上部を切断し、出液を採取した。出液中の硝酸イオン濃度をイオンクロマトグラフにより測定した。スラブ1枚当たり9ヶ所を切り取り、80℃で乾燥後、600℃の電気炉で燃焼し、スラブ体積当たりの根重を測定し、株当たりの根重を推定した。

## [結果および考察]

濃度管理区では、水の要求量の大きな生育後半に多肥となるが、量的管理法では養分要求量の大きな生育中期にピークがあった。量的管理法では、養分施用量が濃度管理区に比べて削減（中量区で22~37%）され、栽培終了時の培地内残存量以外は廃棄する肥料成分はなかった。培地内の水分は多量区で低い時期があった。培地内ECは、濃度管理区では給液ECと同程度で低く推移したのに対し、少量区と中量区では概ね1~2 dS/mで推移し、多量区では一時7dS/m以上の高い値を示した。

トマトの葉乾物重および総収量は、濃度管理区でもっとも小さく、量的管理各区の中では養分施用量が多い区ほど大きかった。したがって、量的管理法による草姿制御が可能と考えられた。根乾物重は、処理による有意な差はみられなかった。トマトの養分吸収量は施用量が多い区ほど大きかったが、水吸収量は養分施用量との相関は低く、葉面積が大きい区ほど大きかった。栽培終了時の出液速度および出液中の硝酸イオン濃度は、濃度管理区>多量区、中量区>少量区の順に大きかった。なお、出液採取時のスラブ内溶液中のNは量的管理各区では検出されず、濃度管理区では5ppmであった。

以上の結果から、量的管理法は、慣行のかけ流し式濃度管理法と比べて少ない肥料を効率的に吸収させ、草姿制御によって収量性を向上させることが示された。一方、給液法や施用量によって総根量はあまり変化しないことから、栽培期間中の根量の推移や、根の活性と養分吸収の関係についてさらに検討する必要がある。

報告 (第25回根研究集会発表要旨)

栽培体系が異なる圃場での作物根圏の微生物相の比較(その2)

土肥哲哉<sup>1</sup>、児玉五月<sup>2</sup>、阿部淳<sup>2</sup>、森田茂紀<sup>2</sup>

1) 西原環境テクノロジー 2) 東京大学 大学院農学生命科学研究科

E-mail: tetsuya\_doi@nishihara.co.jp

【結言】

植物が土壌から栄養分を獲得する際、植物根の先端部や周辺に生息している複雑系微生物相である根圏微生物の役割が重要で、これらの菌相の活性が植物の生育環境に大きな影響を及ぼしている。筆者らはこれまで分子生物学的手法を用いて栽培体系が異なる圃場での作物根圏の微生物相の解析を試みてきた。前回はPCR-DGGEの結果から、ヒマワリ・ナタネ鍍込区で *Pseudomonas pudita* と *Bacillus cereus* が同定されたので今回はこれらの菌種を検出する DNA probe を用いた FISH 解析を行ったので報告する。

【試料および方法】

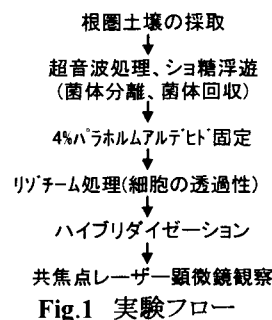
本研究で供試した作物の試験区と根圏微生物相解析のフローを Table-1、Fig.1 に示す。

Table-1 供試作物と土壌条件

No.	試験区 / 栽培条件	pH[-]	含水率[%]
①	ヒマワリ ナタネ鍍込み区	7.0	38.4
②	ヒマワリ 無処理区	7.1	39.6
③	ダイズ 湿土区	7.0	42.4
④	ダイズ 無処理区	6.9	40.2

Table-2 DNA probe

Probe	Target	Sequence(5'→3')	Label
EUB338	Eubacteria	GCT GCC TCC CGT AGG AGT	Aluexa488
LowGC	Gram+bacteria ( <i>Bacillus</i> )	TGT AGC CCA RGT CAT A	Cy3
Pseudo	<i>Pseudomonas</i>	ATT TCA GCC TAC CAC CTT AA	Cy5



【実験結果】

FISH の結果を Fig.2 に示す。

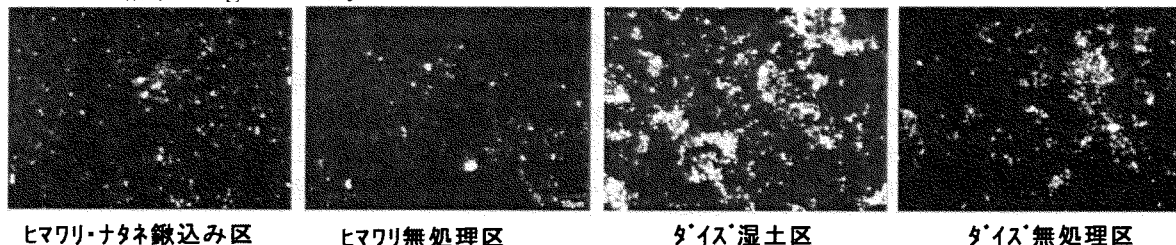


Fig.2 FISH で検出された根圏微生物

【まとめ】

- ① 真正菌類はいずれの試験区でもクラスターを形成し、桿菌および球菌が多く観察された。
- ② 低 GC グラム陽性菌類では球菌が多く観察され、これらは *Bacillus* 属であることが考えられた。
- ③ *Pseudomonas* 属はヒマワリおよびダイズで存在が確認された。
- ④ FISH の結果は根圏微生物の PCR-DGGE による 16SrDNA プロファイル結果(前報その1)を反映していることが確認された。



**QTL analysis for root penetration ability of a doubled haploid line derived from a cross between a paddy rice, Koshihikari and an upland rice, Sensho**

**Dang Quy Nhan<sup>1</sup>, Naoki Matsuo<sup>1</sup>, Soe Thaw<sup>1</sup>, Ikuo Ando<sup>2</sup> and Toshihiro Mochizuki<sup>3\*</sup>**

**1. Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, 2. NICS, 3. Faculty of Agriculture, Kyushu University**

(\* Corresponding author:mochizuki@farm.kyushu-u.ac.jp)

Root penetration ability (RPA) has been recognized as an important breeding objective for drought resistance in rice. To genetically dissect drought resistance associated with RPA and root traits in rice, many previous studies analyzed QTLs for these traits using populations deriving from indica/ indica or indica/japonica crosses. In the present study, a population of 101 doubled haploid (DH) lines derived from a cross between japonica paddy rice variety Koshihikari and tropical japonica upland rice variety Sensho (Ando *et al.* 1993) was used for QTL analysis.

Phenotypic evaluation of RPA and several root traits relating to RPA was performed by wax layer method (Kubo 2004) and PVC tube method (Matsuo *et al.* 2005). Total root number (TRN) and penetrated root number (PRN) in the wax layer experiment, and maximum root length (MRL), root thickness at 1 cm from the root tip (RT) and root dry weight (RDW) in the PVC tube experiment were measured. RPA was estimated as the ratio of PRN to TRN (Root penetration rate; RPR). The linkage map with 99 microsatellite (SSR) makers covering 1,166 cM was constructed by using MAPMAKER/EXP ver. 3.0 (Lander *et al.* 1987). The QTL analysis was performed with Windows QTL Cartographer ver. 2.0 (Basten *et al.* 2004). QTLs for RPA and root traits were declared significant at  $P < 0.05$ , with the LOD score given by 1000 permutations of composite interval mapping.

RPR and all root traits except TRN in Sensho were higher than those in Koshihikari. A total of 7 QTLs affecting RPR, TRN, PRN, MRL, RT and RDW were identified. One putative QTL for RPR on chromosome 1 was found near maker RM7318 ( $R^2 = 0.11$ ). The Sensho allele increased RPR. Two QTLs for TRN were found on the chromosome 1 and 6 at positions near RM5964 and RM6811, which explained 8% and 13% of the phenotypic variation, respectively. One QTL for PRN on chromosome 6 was detected near maker RM6811 ( $R^2 = 0.12$ ). One QTL for MRL near maker RM218 on chromosome 3 ( $R^2 = 0.12$ ), one QTL for RT on chromosome 2 ( $R^2 = 0.10$ ), and one QTL for RDW on chromosome 1 ( $R^2 = 0.09$ ) were detected. While some QTLs for root traits detected in this study were located at near the same positions as in previous studies, the QTL for RPR in this study was unique.

ダイズにおける二次通気組織形成に関与する量的形質遺伝子座の検出

梶原さゆり<sup>1</sup>・古賀孝志<sup>2\*</sup>・鳥飼芳秀<sup>1</sup>・梶原良徳<sup>1</sup>・山崎敦子<sup>1</sup>・

島村聡<sup>4</sup>・原田久也<sup>5</sup>・望月俊宏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九大農, <sup>2</sup>九大大学院生物資源環境科学府, <sup>3</sup>九大大学院農学研究院, <sup>4</sup>作物研, <sup>5</sup>千葉大

(\*連絡先: t\_koga@farm.kyushu-u.ac.jp)

我が国におけるダイズ栽培は、主として水田転換畑で行われている。転換畑は元々水を貯めることを基盤に整備されているため、梅雨期の長雨や、隣接田からの漏水などにより過湿となりやすく、畑作物であるダイズは湿害を受けやすい。明渠や暗渠の施工など耕種的対策はなされているが、耐湿性ダイズの育種は進展していない。本報告では、近年、湛水条件下のダイズ根系に発達することが明らかになった通気組織（二次通気組織）に着目し、ミスズダイズと秣食豆公 503 およびその交雑に由来する組換え自殖系統群 (Recombinant inbred lines; RILs) を用いてその形成量に関与する QTL の検出を試みた。

#### 材料および方法

植物材料：ナショナルバイオリソース (ダイズ・ミヤコグサ) より分譲されたミスズダイズと秣食豆公 503 およびその交雑に由来する 131 系統の RILs を供試した。実験は九州大学農学部附属農場のガラス温室内で行った。400ml 容プラスチックポットに風乾した水田土壌を充填し、2006 年 4 月 27 日に 1 系統当たり 3 ポット、1 ポット当たり 3 粒播種し、出芽後間引いて 1 ポット 1 本立てとして栽培した。各ポットを大型のバット (90 cm x 60 cm x 15 cm) に置床し、播種後 13 日目の 5 月 10 日からそれぞれの植物体子葉節まで湛水する処理を開始した。処理開始後 12 日目にサンプリングし、調査に供した。

通気組織形成量の調査：プラント・マイクローム (MTH-1: 日本医科器機製作所) を用いてサンプリングした各個体胚軸中央部の横断切片 (100  $\mu$ m) を作製し、実体顕微鏡下で写真撮影を行った。その後、NIH Image を用いて中心柱および二次通気組織の面積を測定し、系統ごとの平均値および二次通気組織の面積比 (二次通気組織面積/中心柱面積 x 100) を算出した。また、子葉節以上部を 80°C、3 日間乾燥後秤量し、地上部乾物重を求めた。

QTL 解析：形質データならびにナショナルバイオリソースプロジェクト Legume Base によるマップ情報をもとに、Windows QTL Cartographer ver. 2.0 を用いて QTL 解析を行った。5cM 間隔で複合区間マッピングを行い、LOD 値 2.0 以上を QTL 検出の閾値とした。

#### 結果

二次通気組織面積は、ミスズダイズおよび秣食豆公 503 それぞれで 29.6 および 20.0mm<sup>2</sup> であり、RILs は 9.0-52.9 mm<sup>2</sup> の連続変異を示した。中心柱面積、二次通気組織面積比および地上部乾物重は、ミスズダイズおよび秣食豆公 503 で 10.6 および 3.8 mm<sup>2</sup>, 2.8 および 5.2, 0.62 および 0.25g, RILs はそれぞれ 2.8-10.6 mm<sup>2</sup>, 2.2-8.9 および 0.70-0.17g であった。二次通気組織面積に関与する QTL は B1, B2, D1a, D1b, I および N の各連鎖群に検出され、B1, B2 および I に検出された QTL ではミスズダイズの Allele が二次通気組織面積を大きくする方向に、D1a, D1b および N では秣食豆 503 の Allele が二次通気組織面積を大きくする方向に作用していた。B1, B2 および I に検出された QTL の近傍には、二次通気組織の面積比に関する QTL も検出され、いずれもミスズダイズの Allele が面積比を大きくする方向に作用していた。

ソラマメ種子根の湛水処理による成長及び形態の観察

小林奈々<sup>1</sup>, 高橋三男<sup>1</sup>, 川島徳道<sup>2</sup>, 湯浅眞<sup>3</sup>, 小柳津研一<sup>3</sup>, 仁木輝緒<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立東京高・物質工学科, <sup>2</sup> 桐蔭横浜大・医用工学部, <sup>3</sup> 東理大・理工学部, <sup>4</sup> 拓殖大・工学部

(\* 連絡先 e-mail: taka@tokyo-ct.ac.jp)

1. 緒言

本研究室は種々の分野に応用できる酸素センサーの開発を行っており、とくにマイクロ酸素センサーの開発に力を入れている。(これまで直径 20 μm の電極の開発に成功) マイクロ酸素センサーは、細胞組織などの微小環境の酸素濃度の測定が可能なので、生物、特に植物細胞の酸素濃度の計測の可能性を探っている。

ある種の植物の根が低酸素ストレスによって通気組織を形成させることが分かっている。しかし、その形成メカニズムが明確になっていないのが現状である。そこで、マイクロ酸素センサーを用いて、根の呼吸の活性・不活性条件を組織細胞レベルで研究することでその形成メカニズムを明らかにできるのではないかと考えた。

測定を容易にするために本研究では比較的径の大きいソラマメの根を用いることにした。これまでソラマメにおいて湛水条件で通気組織が形成されるということは示されているが詳細はない。そこで、まずソラマメの発芽・育成・通気組織の形成等について検討を行った。今回は、現在得られているデータ、とくに播種前の種子の予備吸水処理について興味ある知見を得たので報告する。

2. 実験方法

① 急激な予備吸水と穏やかな予備吸水

ソラマメの種子を播種前に一昼夜流水に浸す方法(急激な予備吸水)と、ソラマメの種子を一昼夜湿らせた土の中においてから流水に浸す方法(穏やかな予備吸水)の2種類の方法について比較実験を行い、種子に与える障害の度合いを調べた。

② 栽培方法

予備吸水処理が完了した種子をパーミキュライト(深6cm)を入れた鉢に植え、上からパーミキュライトを1cm程被せた。水は鉢から漏れるまで与えた。6日後芽が土から5mm出たところで種子を掘り起こし、根の先端から約2mmの間隔で印をつけ、このときに根の長さとも根の直径も計測した。直径は、先端から1, 2, 4, 8, 10, 30, 40mmというように計測する位置を統一した。

③ 湛水処理

専用のプラスチック容器に水道水を9割強まで入れ、その上に直径約8mmの穴を30個開けた金属性の板を置き、(i)で用意した根を置いた。湛水処理は、水槽用のポンプを利用してバブリングしているものとしていないものを実施し、実験中は溶存酸素計と温度計を随時設置した。24時間ごとに根を切断して横断面の観察と成長と形態の観察を行い、5日間で終了した。

3. 結果

Fig.1は、種子を急激に予備吸水させた場合(14個)と種子を穏やかに予備吸水させた場合(20個)について根の先端からの距離と根の直径との関係を表している。根の形態に関してとくに大きな差は観られなかった。次に、Table.1に湛水処理中の根の成長について観察した結果を示す。急激な予備吸水よりも穏やかな予備吸水の方が伸張し続けた根が多いことから、後者の方が種子へのダメージが少ないことが分かった。

Fig.2に穏やかな予備吸水・バブリングなしの条件で確認された細胞間隙の写真を示す。根の先端からは少し離れた所の断面で、他で確認された間隙に比べ径が小さい。この間隙は根の中心からずれた位置に形成しているが、根の先端付近に見られる間隙は、根の中心に形成しているものが多い。根の断面を観察したところ、通気組織の形成が確認されたのは穏やかな予備吸水19個中3個、急激な予備吸水14個中2個で、両者の間に大きな差は見られなかった。またバブリングの有無に関係なく間隙の形成が確認された。

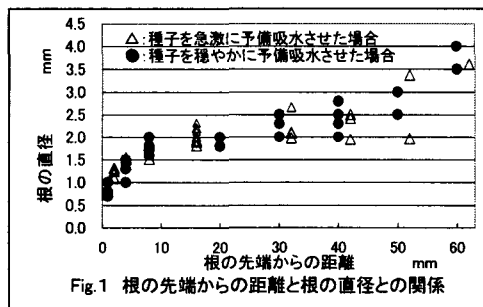


Fig.1 根の先端からの距離と根の直径との関係

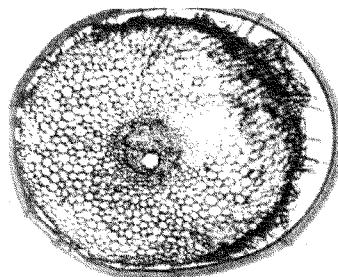


Fig.2 横断面図(全長104mm 先端から32mm)

4. 今後の検討事項

穏やかに予備吸水させた方が種子へのダメージが少なくより根の生育が活発であったことから、土(保水性の高い土「ヴェルデナイト」とパーミキュライトと比較した場合ではどの程度差が生じるか検討を試みる。

Table.1 湛水処理中も伸張し続けていた根の個数

予備吸水	バブリングあり		バブリングなし	
	溶存酸素 8.6mg/l		溶存酸素 3.5~4.6mg/l	
穏やか	10	10	4	4
急激	7	10	3	3

5. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、根研究会(JSRR)の会員の皆様方からいろいろご助言いただきましたことに厚く御礼申し上げます。

## 土壌栽培条件下での湛水、低酸素濃度、エチレン曝露

## によるトウモロコシ根の生理・形態学的変化

仁木輝緒 (拓殖大・工) tniki@la.takushoku-u.ac.jp

我々はエンドウを用いて土壌中で根に直接低酸素濃度空気を晒す方法を確立し、土壌栽培条件下で湛水処理、低酸素濃度空気、エチレン曝露等のストレスを与え、その生理・形態学的な変化を調べている。

エンドウと単子葉類のトウモロコシでは、そのストレスに対する反応も異なる可能性もある。そこで、トウモロコシにおけるそれらストレスに対する反応 (根の成長量、通気組織形成能) を Drew らが試験に用いた水耕法とは異なる土壌栽培法にて、再検討した。

トウモロコシ *Zea Mays* (cv. Saccho rata) 種子はサカタ種苗会社より入手した。1,000 ml 容量のトールピーカを容器として用いた。パーメキュライトをいれ、375 ml の蒸留水を加え、アルミホイルで覆い、オートクレーブで 70 分加熱滅菌を行い、これを培地とした。滅菌した種子を上部 10cm 部位に播種し、さらに 5 cm 程度のパーメキュライトを加えた。低酸素濃度空気、エチレン曝露を行う場合は、プラスチック製容器を用い、培地滅菌後、上部 10 cm 部位に Partition (ワセリン、パラフィン混液をしみこませたもの) を設置し、その上に播種し、パーメキュライトを加えた。発芽・生育条件は 25°C で連続暗黒とした。

播種 3 日目約 7cm に成長した種子根に湛水処理、約 10% 酸素濃度の空気の曝露、または 10 ppm のエチレン曝露を 24 時間行った。これらの方法は湛水処理では根の部分、また低酸素濃度空気曝露、エチレン曝露も根のみにストレスを与えられるように工夫したものである。

本実験では種子根を観察する根とした。ストレスを 24 時間与えた後、それぞれ根の成長量を調べると、それぞれの処理は根の成長を抑制することが示された。すなわちこの間における成長量に対して湛水処理では約 47%、エチレン曝露では約 73% の成長量 (cm) の抑制であった。一方、低酸素濃度空気の曝露では、成長量は抑制 (約 24%) されたが顕著ではなかった。

トウモロコシの根の皮層は柔細胞で構成されている。湛水、低酸素濃度空気曝露、エチレン曝露等の処理を行った後、徒手切片法によって根の横断面を観察した。根の先端から 7 cm 部位で皮層組織に柔細胞の崩壊による通気組織の形成がみられた。

空隙の形成は湛水処理では根先端から 7 cm 部位で観察できた。また約 10% の低酸素濃度空気曝露では (通常、空気の酸素濃度は 20.9%)、24 時間曝露後でも皮層組織に柔細胞の崩壊を原因とする空隙の形成は見られなかった。10 ppm エチレン曝露では根先端から 7 cm 部位では 100%、5 cm 部位においても約半数 (44%) の根の皮層組織に空隙の形成がみられた。

Drew らは水耕栽培においてエアレーションすると通気組織は形成されないが、エアレーションを行わないと皮層柔細胞の崩壊による通気組織を観察している。しかし培液に窒素ガスを吹き込み無酸素濃度近くになると、逆に通気組織は出来ないことを示している。一方エチレンを曝露させると通気組織が形成され、エチレン合成阻害剤、作用阻害剤等により通気組織の形成が抑制されることから、低酸素濃度により通気組織が形成されるのではなく、エチレンの作用により通気組織が形成されるのだ、とした。

Drew らの実験は水耕栽培法を用いての結果であり、本研究のような土壌栽培法での結果との関連性は今後の問題である。