

第6回「根研究会」研究集会 講演要旨

とき：1996年10月26日(土)

ところ：名古屋大学農学部

目次

	時間	ページ
【一般講演の部】		
植物根の分類用語に関する国際的動向	(10:00-10:15)	
飯嶋盛雄 (名古屋大学農学部)		1
「根の深さ指数」の計算方法とその利用法	(10:15-10:30)	
小柳敦史 (農業研究センター)		2
根細胞壁の伸長性計測法		
一クリープ法による粘弾性解析一	(10:30-10:45)	
¹⁾ 谷本英一・ ²⁾ 山本良一 (¹⁾ 名古屋市立大学自然科学研究教育センター、 ²⁾ 帝塚山短期大学食品科学)		3
イネ種子根のらせん伸長性と環境応答	(10:45-11:00)	
一井眞比古・梁正偉 (香川大学農学部)		4
ラッカセイの毛状根における分枝根発生と根粒の形成	(11:00-11:15)	
¹⁾ 赤坂庸子・ ¹⁾ 大門弘幸・ ²⁾ 上田英二 (¹⁾ 大阪府立大学農学部、 ²⁾ 大阪府立大学先端科学研究所)		5
ノンストレス肥料が根の分布および形態に与える影響	(11:15-11:30)	
中野明正・上原洋一 (野菜・茶業試験場)		6
画像解析による植物根圏のpHの観察		
一 根圏の養分動態のマクロな評価はできないか一	(11:30-11:45)	
関本 均・吉田昭則・澁谷和男 (宇都宮大学農学部)		7
作物のリン酸吸収における根長の意義 一リン酸肥沃度・土壌容量・ 栽植密度による両者の関係一	(11:45-12:00)	
大谷 卓・阿江教治 (農業環境技術研究所)		8
Arbuscular 菌根菌接種効果のネギ品種間差	(13:00-13:15)	
俵谷圭太郎・木曾秀紀・我妻忠雄 (山形大学農学部)		9

ページは各要旨の右上の数字に対応しています。
当日の模様は、前号(第5巻第4号)118ページの
報告記事を参照して下さい。

	時間	ページ
水稲種子根系のアーキテクチャーにおける近縁品種間差異の 定量的解析	(13:15-13:30)	
泉 泰弘 (名古屋大学農学部)		10
スギ・ヒノキ当年生実生苗根系のトポロジー解析： 特にパイプモデルとの関係から	(13:30-13:45)	
城田徹央・玉泉幸一郎・斎藤 明 (九州大学農学部)		11
海岸クロマツ林内に生育するアカメガシワの根萌芽の分布	(13:45-14:00)	
峯苔栄子・玉泉幸一郎・斎藤 明 (九州大学農学部)		12
ウンシュウミカンの地上部、地下部の相互作用に関する二、三の知見	(14:00-14:15)	
山下研介 (宮崎大学農学部)		13
植栽鉢から放出される二酸化炭素に占める土壤微生物と根の呼吸速度の割合	(14:15-14:30)	
大橋瑞江・玉泉幸一郎・斎藤 明 (九州大学農学部)		14
稲株の周長と茎数を利用したファイトマーの大きさの簡易推定	(14:30-14:45)	
森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳 (東京大学大学院農学生命科学研究科)		15
Relationship between root restriction, plant growth and cool temperature induced male sterility in rice	(14:45-15:00)	
Mark LIEFFERING, H.YAMANISHI and K. YOSHIDA (Tohoku National Agricultural Experiment Station)		16
【特別講演の部】		
Understanding the root growth and functions under the anaerobic- aerobic transition of the rainfed lowland	(15:30-16:00)	
Len WADE (International Rice Research Institute, Philippines)		17
Descriptive model for the root distribution of lowland rice	(16:00-16:30)	
Jin Chul SHIN (National Crop Experiment Station, Korea)		19
Relationship between rice root growth and nutrient uptake	(16:30-17:00)	
¹⁾ C.A. BEYROUTY*, ¹⁾ Y.H. TEO, ¹⁾ D.B. STEPHENS and ²⁾ E.E. GBUR (¹⁾ Dep. Of Agronomy, ²⁾ Agricultural Statistics Laboratory, Univ. Of Arkansas, USA)		21
【1996年度根研究会学術功労賞受賞講演】		
根の水分屈性に関する研究	(17:20-17:40)	
高橋秀幸 (東北大学遺伝生態研究センター)		23

植物根の分類用語に関する国際的動向 飯嶋盛雄（名古屋大学農学部）

Current trend of plant root taxonomy

Morio IJIMA (School of agricultural sciences, Nagoya university)

植物の根にはさまざまな種類があり、それらの根には研究者の主張の違いによって異なる名称が与えられている。根の名称が複数存在することによって、これまで少なからぬ研究上の混乱がみられたといえよう。そこで、根の名称を整理するための素案が第5回国際根研究学会において提起された。本報告では、この素案を説明し、さらに根の命名法統一に関わる問題点を考察する。

国際根研究学会による素案では、単子葉と双子葉植物の根系を構成する根を、4種類にまとめている。これらの根の簡単な定義は以下の通りである。

1. これまで広範に用いられてきた不定根の代わりに茎生根 (shoot born root) を用いる。茎生根は、葉や茎などの地上部器官に限定して、それらに由来する全ての根を記載しうる。

2. 胚軸（中胚軸）に起源する根を胚軸根 (basal root) と呼ぶ。

3. 種子から初めに発根し、鉛直下方に伸長する根を直根 (tap root) と呼ぶ。幼根に由来する直根が、なんらかのストレスや傷害を受けて伸長が著しく抑制された場合には、直根の代わりに鉛直下方に伸長した根を直根と呼ぶ。

4. 根から分枝する根を側根 (lateral root) と呼ぶ。分枝次元が上がるにつれ、順次、1次、2次、3次側根とする。

国際根研究学会が提案した分類方法は、根の起源を考慮しつつ、さらに根の機能的役割に重点をおいた分類である。つまり、形態と機能という、根の研究において欠いてはならない2つの重要な概念を、簡潔にまとめたという長所がある。しかし同時に、簡潔な点があいまいさという短所をつくり出している。理想的な統一用語とは、だれが読んでも誤解がなく、同時に読み換えができて、他の用語と比較対照することができるようなものであろう。それを今回の国際根研究学会の素案のように簡素なものに統一する場合には、統一用語と合わせて、他の選択肢も提示すべきであると思う。つまり、ある程度複雑さは残していても、例えば分類基準の重点を発生・形態的視点においたものと機能的視点においたものも提示し、それらと統一用語との対照表を添付することが必要になろう。

根の用語を統一することは、今後の根の研究にとって多大な恩恵を与えるものであると信じる。しかし、そうするためには、より多くの研究者がそれを無視するのではなく積極的に使えるようなものにしなければならず、多くの研究者が納得できる形で完成されていくことを望む。

「根の深さ指数」の計算方法とその利用法

小柳敦史（農研センター）

How to calculate and how to use Root Depth Index
Atsushi Oyanagi (National Agriculture Research Center)

根の分布を表現する方法として、深さ別に根の量を示す図や横軸を水平距離、縦軸を深さとして位置別に根量を記載する図がよく用いられる。これらは、根の分布の様相を視覚的にとらえる上で有効であるが、これだけでは根系の深さの数値化や統計処理はできない。

根系の最大の深さを表現する Rooting depth は、観察した最も深い根の位置を示すが、この数値は、それより浅い層における根の分布の情報は含んでいない。一方、多くの場合、根は深い層ほど少なくなることから、この関係を数式に当てはめ、地表から積算して50%または90%の根が含まれる深さの点を求めて根系全体の深さの代表値とすることがある。しかし、深い層の一部で根が逆に多くなる場合などは数式へのあてはめ自体が困難になる。

そこで、私たちは土壌の深さ別に調べた根量のデータから、根系の平均的な深さを示す「根の深さ指数」を以下のようにして計算し、利用している。

根の深さ指数 (cm) = Σ (各層の深さ:cm × 根の存在割合:%) / 100

「根の深さ指数」を求めることにより、根系の平均的な深さが植物の種間や品種間で異なること、これが環境条件により変化することなどが一つの数値で示され、調査に反復がある場合には、統計処理による差の検定も可能となる。

根細胞壁の伸展性計測法—クリープ法による粘弾性解析—

1) 谷本英一・2) 山本良一

1) 名古屋市立大学・自然科学研究教育センター・2) 帝塚山短期大学・食品科学

Measurement of cell-wall extensibility in roots---analyses of visco-elastic properties by the creep extension---

Eiichi Tanimoto¹⁾ and Ryoichi Yamamoto²⁾

¹⁾ Institute of Natural Sciences, Nagoya City University

²⁾ Laboratory of Biology and Chemistry, Tezukayama College

細胞壁の伸展性は、植物細胞の成長を制御する重要な性質である。細胞壁の力学的性質の研究は古く Hugo de Vries の研究にまで遡る (増田1996)。

100年以上の研究の中で、大きく分けて4種類の計測方法が採用されてきた。

1) 茎などの植物片の一端に分銅をかけ、植物片の曲がりや、伸びを顕微鏡などで拡大計測する最も単純な方法。

2) 切片を定速モーターで引っ張り、切片にかかる荷重を圧力センサー (ロードセル) で連続的に記録する方法 (伸び・応力計測)。

3) モーターで一定の距離を引っ張ってから停止し、生じた応力の減衰過程をナノ秒単位でコンピューター記録し解析する方法 (応力緩和法)。

4) ロードセルに生じる荷重を常にモニターしながら、ステッピングモーターを細かく制御し、植物切片に常に一定の荷重をかけながら荷重と伸びを同時にコンピューター記録する方法 (クリープ計測)。

第4の方法は、コンピューター・ロードセル・ステッピングモーターの性能が向上したことにより進歩したもので、食品や繊維の物性を計測することに利用されている。植物が自然に成長するときは、ほぼ一定の圧力 (膨圧) のもとに細胞壁が拡大しているので、自然に起こっている細胞壁の成長を再現するには、成長によって長さが時事刻々変化する細胞壁に一定の荷重をかけ続けることが必要になる。私達は、この方法の確立と、種々の植物ホルモンによる成長制御との関係を調査している (Tanimoto, E. 1994 ; Tanimoto, E. and R. Yamamoto 1996) が、本報告では特に根の先端部での研究例を紹介する。

エンドウやアズキにおいて、ホルモンや有害金属などに対する根の伸長反応と根細胞壁の粘弾性係数との相関関係が分かってきたので合わせて報告する。

(文献)

増田芳雄(1996)「植物細胞と細胞壁のレオロジー」New Food Industry 38(6) 49-63.

Tanimoto, E.(1994) Interaction of gibberellin A₃ and ancymidol in the growth and cell-wall extensibility of dwarf pea roots. Plant Cell Physiol., 35:1019-1028.

Tanimoto, E. and R. Yamamoto (1996) Changes in cell wall extensibility during gibberellin-regulated growth of pea roots. Proceedings of the International Workshop "Stress Relaxation in Solids of Biological Origin". J. Blahovec ed. Czech Univ. Agr., Prague, Czech Republic, pp.59-64.

イネ種子根のらせん伸長性と環境応答

一井眞比古・梁 正偉（香川大農）

Spiral growth and the response to environmental stimuli of seminal root in rice
ICHII, M. and Z. -W. LIANG (Fac. Agr., Kagawa Univ.)

植物の根は重力や光、水分 養分などの環境刺激によってさまざまな伸長運動をする。イネ種子根がらせん伸長することは知られているが、らせん伸長の発現機構についてはほとんど明らかにされていない。筆者らは、約400品種のイネ幼植物の根の伸長特性を調べた結果、種子根がらせん伸長する系統を見出したのでその遺伝及び発現条件について報告する。

〔材料及び方法〕(1) らせん伸長性の遺伝；幼植物の種子根がらせん伸長するらせん型系統(C8028)と真っ直ぐに伸長する直進伸長型系統(Dular及びBG1)並びにそれらのF₁、F₂幼植物を0.2%寒天培地(180 mlガラス瓶)で6日間養成し、それらの種子根の伸長性を調べた。(2) らせん伸長性の発現条件；らせん伸長型系統C8028の幼植物を光条件(明と暗)、播種密度(疎と密)、主要無機成分(水耕液と脱イオン水)、微量無機成分(水道水と脱イオン水)の異なる0.2%寒天培地で6~7日間養成し、それらの種子根の伸長性を調べた。

〔結果及び考察〕らせん伸長型と直進伸長型との雑種世代及びそれらの両親幼植物における種子根の伸長性を調べた結果、F₁はすべてらせん型を示し、中間型は認められなかった(表1)。Dular/C8028のF₂ではらせん伸長型と直進伸長型が3:1に、BG1/C8028のF₂ではらせん型のらせん伸長性の発現に影響すると思われるいくつかの環境条件について検討した。光(明と暗)は、種子根長やらせん伸長を始めるまでの長さに影響したが、らせん伸長の発現それ自体にと直進型が15:1に分離した。次に、らせん伸長性の発現機構を明らかにする第一歩として、C8028は影響しなかった。播種密度及び主要無機成分も光と同様、らせん伸長の発現それ自体には影響しなかった。脱イオン水及び水道水で寒天培地を作り、らせん伸長性を比較したところ、脱イオン水ではすべての個体がらせん生長したが、水道水ではすべての個体が直進伸長した(表2)。

以上の結果は、種子根のらせん伸長が、直進伸長に対して優性であり、1または2の遺伝子によって支配されていることを示唆した。また、らせん伸長が微量の無機要素に対する応答であることを推察させた。

表1 らせん型と直進型とのF₁及びF₂並びにそれらの
両親幼植物種子根の伸長性

系統	観察個体数			P	
	らせん	直進	合計	3:1	15:1
Dular		10	10		
BG1		10	10		
C8028	10		10		
F ₁ (Dular/C8028)	10		10		
F ₁ (BG1/C8028)	10		10		
F ₂ (Dular/C8028)	101	32	133	0.8-0.9	
F ₂ (BG1/C8028)	128	7	135		0.7-0.8

表2 C8028の種子根伸長性に及ぼす微量成分の影響

	らせん根率 (%)	種子根長 (cm)	草丈 (cm)
脱イオン水	100	1.3±0.3	7.2±0.4
水道水	0	10.9±0.5	8.5±0.5

ラッカセイの毛状根における分枝根発生と根粒の形成

¹⁾赤坂庸子*・²⁾大門弘幸・³⁾上田英二

(¹⁾大阪府立大学農学部、²⁾大阪府立大学先端科学研究所)

Occurrence of branch roots and nodulation on peanut hairy roots

¹⁾Yoko AKASAKA*, ²⁾Hiroyuki DAIMON and ³⁾Eiji UHEDA

(¹⁾College of Agriculture, Osaka Prefecture University, ²⁾Research Institute for Advanced Science and Technology, Osaka Prefecture University)

毛根病菌として知られる*A. rhizogenes* は双子葉植物に感染すると感染部位から旺盛な増殖と著しい分岐を示す毛状根を発生させる。毛状根由来植物は根量が増大することが知られており^{2,3)}、作物の根系改良に利用できる可能性があるが、特にマメ科作物では窒素固定の改良も期待される。また、根粒特異的遺伝子の発現機構を探る系としても毛状根を利用することが報告されている。しかし、これらの研究の基礎となるそれぞれの作物における毛状根の根としての構造や機能については十分な知見が得られていない。本報告では、ラッカセイにおける毛状根の根系形態、組織構造、根粒着生機能についてその概要を述べる。

ラッカセイ(*Arachis hypogaea* L. 品種: Java 13) 完熟種子胚の幼根部を含む1/3を切除したものを外植片として用い、その切断面に*A. rhizogenes* のMAFF-02-10266系統²⁾を接種し、毛状根を地下部とするcomposite plantを作出した。得られた個体をグロースポーチに移植し、25℃、16時間日長条件下で生育させ、根系の発達を観察するとともにフラクタル解析を行った。組織学的観察のために毛状根を固定し樹脂包埋切片を調整した。パーミキュライトを充填したポットに移植したcomposite plantに*Bradyrhizobium* spp. のA2R1系統を接種し、毛状根への根粒着生を試みた。

A. rhizogenes 接種区におけるcomposite plant根系は、非接種区よりも高いフラクタル次元(D)を示した。根粒菌の侵入に関与するとされるロゼット根毛は、毛状根においても分枝根基部に発生した。毛状根では、演者らがすでに報告している主根および側根において生じる表皮および最外層の脱落³⁾は観察されず、非接種区において生じた非形質転換根と同様に基本組織系が分化していた。根粒が着生した根では形質転換が確認され、毛状根に根粒が形成されることが示された。これらの形質転換根粒はニトロゲナーゼ活性を有する有効根粒であり、ほとんどの形質転換根粒は非形質転換根粒と類似した内部構造の分化が認められたが、根粒皮層細胞の一部が肥大したり、根粒から新たな根が分化するといった異常な形状を示す根粒も観察された。

1. 大門弘幸・深見正信・三位正洋 1990. 植物組織培養 7(1):31-34.
2. Daimon H., Y. Ito, A. Ohara and M. Mii 1993. Crop Production and Improvement Technology:529-535.
3. Daimon H. and M. Mii 1995. Jpn.J.Crop Sci. 64(3):650-655.
4. Uheda E., Y. Akasaka and H. Daimon Can. J. Bot. (in press)

ノンストレス肥料が根の分布および形態に与える影響

中野明正 上原洋一 (農林水産省 野菜・茶業試験場 施設生産部)

Effect of non-stress fertilizer application on root distribution and form

Akimasa Nakano and Yoichi Uehara (Department of Protected Cultivation,
National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea)

1. 目的 施設土壌は降雨の影響が少なく、過剰塩類を集積する傾向がある。また特定の成分が吸収されることにより、成分間の不均衡が生じ、施設特有の連作障害の一因となっている。本研究では、施設土壌における塩類集積と酸性化に着目し、これらの原因物質と考えられる硫酸イオンや塩素イオンを含まない肥料（以後、ノンストレス肥料）を用いて実験を行い、これらの肥料の動態と、それが根の分布や形態、地上および地下部の無機イオン組成に与える影響を検討した。

2. 方法 1/2000 アールのポットを鉛直方向に半分に切断し、切断面をアクリル板で覆い根の形態が観察できるポットを作製した。このポットに播種後 30 日目のトマト苗を定植し、10、30、60 日後にポットの上層と下層からポーラスカップで土壌溶液を採取し分析した。採取条件を一定にするため、予め求めておいた最大容水量の水を採取前に与えて 24 時間後にサンプリングを行った。このとき根の形態をスキャナーで取り込み、形態指標の一つとしてフラクタル次元を求めた。定植 60 日後に植物体のサンプリングを行い、地上部および根部の乾物重、無機イオン組成、根長を測定し、ノンストレス肥料と従来の肥料との比較を行った。なお根部に関しては、上層と下層に分けて分析を行った。

3. 結果と考察 灌水後 24 時間では、全体として上層より、下層のイオン濃度が高い傾向が認められた。構成イオンとしては、カチオンではナトリウムイオン、アニオンでは硫酸イオンが主要な画分であった。ノンストレス肥料区では、栽培期間を通じて下層の硫酸イオンが低く保たれていて、その部分の根の発達が良好であり、フラクタル次元が高くなる傾向を示した。地上部の乾物重に対してはノンストレス肥料の効果が認められなかったものの、根部の長さ、乾物重はそれぞれコントロールの 1.6 倍、1.5 倍になった。

土壌溶液組成の傾向を反映して、地上部の硫酸イオン濃度もノンストレス肥料区では低く保たれていた。栽培後の土壌分析から、ノンストレス肥料区では EC は低く、pH が中性に近づくことが確認された。

硫酸イオンは、栽培後も残留して土壌の塩類化および酸性化の主な原因となっていると考えられ、ノンストレス肥料を継続して使用することにより、これらの不均衡が改善されていくことが期待される。

画像解析による植物根圏のpH分布の観察
— 根圏の養分動態のマクロな評価はできないか —

関本 均・吉田昭則・澁谷和男(宇都宮大・農)

Some observations on the distribution of rhizosphere pH by image analysis
H.Sekimoto, A.Yoshida and K.Shibuya (Fac. of Agri., Utsunomiya Univ.)

植物根圏は、ある土壤環境に生育する植物の個有の領域であり、いわばいろいろな表情を見せる植物と土壤の顔である。この根圏の「顔」を解析することは、植物や土壤の栄養状態の診断に応用できると考えられるが、根圏は様々な要因がからむ複雑系であるため、簡単ではない。養分吸収によるカチオンとアニオンのインバランスや植物根からの分泌物の影響によって根圏のpHは変化するが、植物がどのような栄養条件を嗜好し、選択するかによって、独特のパターンを示すのではないかと予想される。また、例えば鉄欠乏状態になると植物は根圏pHを低下させることが知られているように、根圏pHはある栄養環境にさらされた時の植物の一つの反応であると考えられる。このように根圏pHは、因果関係の特定はできないが、植物の栄養状態を把握するためのマクロな指標、いわば「根圏の表情」と位置づけられる。本研究は、土壌-植物系の栄養状態のマクロな評価を実施するための一つの指標として根圏pHに着目し、その評価法の確立と評価事例の収集を目的として、実施している。

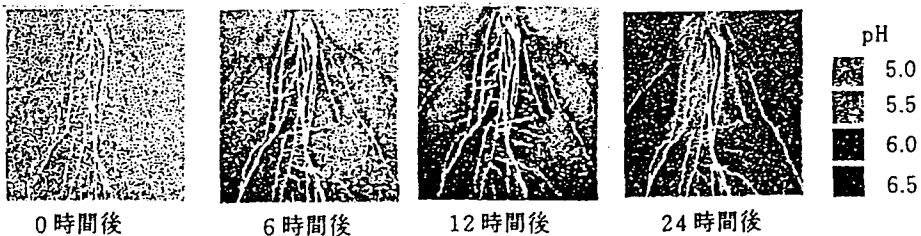
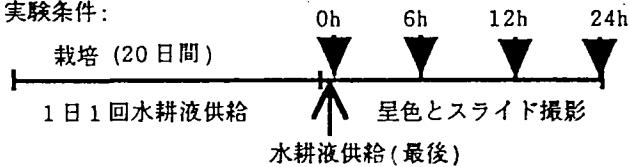
観察例

供試作物: コムギ(農林61号)

pH指示薬: プロモクレゾールパープル(BCP)

水耕液: $\text{NO}_3\text{-N}$ 50ppmの木村氏B液に準じた水耕液

実験条件:



時間の経過とともに根に沿ってpH6.0以上の部分が増加した。24時間後には培地全域がpH6.0以上に上昇したが、中央部分は12時間後よりもむしろ低下し、pHは5.5以下になった。これは、植物が上がったpHを自ら低下させ、あたかも、生育に適した根圏pH環境に自己修復しているかのようであった。

作物のリン酸吸収における根長の意義
ーリン酸肥沃度・土壌容量・栽植密度による両者の関係ー

大谷 卓・阿江教治（農業環境技術研究所）

The Relationship between Phosphorus Uptake and Root Length

Takashi Otani and Noriharu Ae

(National Institute of Agro-Environmental Sciences)

作物のリン酸吸収量は根長（根量）との相関が高いため、従来からリン酸吸収においては根系拡大能力の因子が重要であると考えられてきた。しかし、低リン酸肥沃土壌からのリン酸吸収能力の作物間差はこの考え方では説明できない。ここでは、リン酸肥沃度・土壌容量・栽植密度を変えて作物のリン酸吸収能力を比較し、リン酸吸収量と根長の関係について検討した。

高リン酸および低リン酸肥沃度を持つ圃場で、ソバ・ヒマ・ラッカセイ・キマメ・ソルガム・ダイズのリン酸吸収量を比較した。両圃場ともに最も長い根長を持つソルガムのリン酸吸収量が最も高かった。高リン酸圃場ではリン酸吸収量と根長の間には高い相関が認められたが、低リン酸圃場では両者の間に相関は認められなかった。

上記の土壌をポットに充填し、栽植密度を変え、ポットあたり根量の異なった状態をつくっても、同一容量のポットからのリン酸吸収量は根長に依存せず、作物によってほぼ一定の値（ラッカセイ>ソルガム>ソバ）が得られた。一方、土壌容量を変えると、各作物のリン酸吸収量はそれに応じて変化した。

圃場条件における根伸張は、リン酸獲得可能な土壌容量の増大を意味しており、ソルガムは、その根系拡大能力により広範囲の土壌から可給態リン酸を吸収したものと思われる。一方、可給態リン酸の供給が限られた条件（小容量・低肥沃土壌）では、ラッカセイのように、単位土壌あたりのリン酸吸収量が多い作物が優位となる。このように、低リン酸肥沃土壌からのリン酸吸収機構を考える上で、根長はその要因とはなっておらず、むしろリン酸吸収→生育の結果として考えるべきである。

Arbuscular菌根菌接種効果のネギ品種間差

俵谷 圭太郎・木曾 秀紀・我妻 忠雄（山形大学農学部）

Responses of phosphorus uptake and growth of *Allium fistulosum* L. cultivars to arbuscular mycorrhizal colonisation.

Tawaraya, K., Kiso, H. and Wagatsuma, T. (Faculty of Agriculture, Yamagata University)

Arbuscular菌根形成による宿主植物の生育改善には土壌、菌および宿主植物の各種要因が影響を及ぼす。宿主植物種および品種間での共生機構の違いについてはほとんど明らかにされていない。そこでArbuscular菌根形成度合および菌根形成による植物のリン吸収と生育促進効果の品種間差についてネギを用いて検討した。

4つのグループからネギ(*Allium fistulosum* L.) 19品種を選び、Arbuscular菌根菌(*Glomus fasciculatum*, *Glomus* R-10)を接種し、2段階のリンレベルの黒ボク土で生育させた。菌根形成率、根長、地上部リン吸収量と乾物重を測定した。

菌根形成率は品種間で異なったが、グループ間では差がなかった。菌根形成率と根長との間に一定の関係は認められなかった。菌根形成により地上部のリン吸収と乾物重が増加した。菌根形成による地上部リン吸収と乾物重の変化の度合は非接種区の根長と関連しており、菌根形成率とは関係なかった。これらの結果は、菌根形成によるリン吸収と生育の改善のためには品種間の根長の違いを考慮することが重要であることを示している。また菌根形成根長当りのリン吸収促進度合は品種間で異なったことから、菌根菌によるリン吸収機構は宿主植物により調節されている可能性が示された。

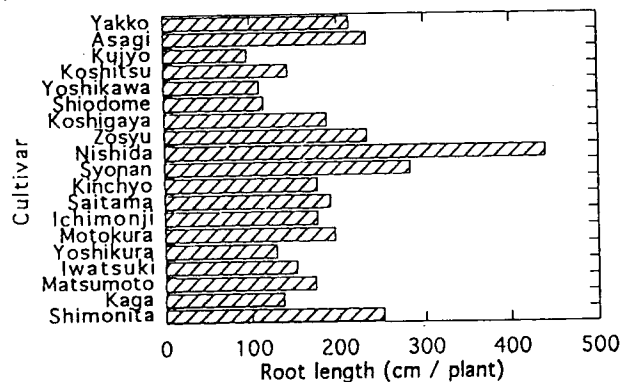


Fig. Root length of various cultivars grown without mycorrhizal fungi at low P level.

水稲種子根系のアーキテクチャーにおける近縁品種間差異の定量的解析 泉 泰弘 (名古屋大学農学部)

Quantitative analysis of the architecture of seminal root systems of relative rice cultivars
Yasuhiro IZUMI (School of Agricultural Sciences, Nagoya University)

水稲では側根が根系表面積の大部分を占め、養水分吸収など根系の基本的諸機能を担っていると考えられる。そこでその重要性に着目し、種子根軸とそこから発生する側根で構成される種子根系を材料として、側根の発生と発達によって規定される根系アーキテクチャーにおける水稲品種間の差異を調査するための一連の研究を行った。根系形質の発現では地上部と比べて環境に応じて表現型を変える能力、つまり表現型の可塑性が大きく、単一生育条件下での比較によって遺伝子型変異を論じてあまり意味がない。そのため複数実験系（培養4・根箱2の計6区）を設定した上で品種特有の根系発達様式を見出し、その比較によって総合的に差異を見い出そうと試みた。

生育条件に応じて水稲種子根系は非常に多様な発達を示したため、測定した根系形質について供試7品種（日印交雑水稲品種「統一」と、その育成に用いられた品種群）間に見い出される差異には、全6区で一定した傾向を見い出し難かった。しかし総根数・総根長、L型1次側根数などの形質では、生育条件が大きく異なるいくつかの区にも共通する傾向が存在した。そこで、まず総根長を尺度として7品種を大まかに分類し、次に根系形質の反応の違いによって各品種の根系発達様式を生態型ごとに特徴づけた。

続いて、全区で共通して測定した20の根系形質を用いて区ごとに主成分分析を行った。第1主成分がサイズファクター、第2主成分が側根の発生頻度を表すと考えられる主成分である点はこの区でも同じであった。いくつかの区では、7品種の主成分得点による分布が生態型ごとに整然と分かれていたが、分布パターンについても生育条件によって全く異なる様相を示しており、全区を通じた傾向を見い出すことはやはり困難であった。そこで1つの試みとして、任意の2品種が同じ象限にある場合（第1・第2主成分の符号が共に等しい場合）を+1点、隣の象限にある場合（片方のみが等しい場合）を0点、原点对称の象限にある場合（両主成分の符号が共に逆である場合）を-1点として全6区の合計点を計算し、根系の発達様式における品種間の類似性を定量的に評価しようとした。そして、インド型3品種（低脚烏尖・IR-8・台中在来1号）の根系発達様式は非常に似通っていること、インド型に分類されている菜園種はむしろユーカラや統一の方に近いこと、ジャワ型のPetaは他品種との間にとくに強い類似性を有さないことなどを明らかにした。

品種間の類似性は各品種の生態型や交雑過程との整合性が高く、近縁品種間では根系発達様式も概ね類似していることを示したが、IR-8とPetaのように直系品種間にもかかわらず共通性を示さない場合もいくつか認められた。このことは、本研究で供試した品種群の根系形質の遺伝様式が地上部の遺伝と必ずしも一致しないことを示唆した。

スギ・ヒノキ当年生実生苗根系のトポロジー解析：特にパイプモデルとの関係から
 ○城田 徹夫・玉泉 幸一郎・齋藤 明（九州大・農学部・造林学教室）

Topological analysis of root architecture of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* seedlings: A simple model of specific root length(SRL) based on the pipe model theory

Tetsuo SHIROTA, Koichiro GYOKUSEN and Akira SAITO
 Lab. of silviculture, Fac. of agriculture, Kyushu university

Fiiterとその共同研究者によって、トポロジーに基づいた根系形態の解析方法が提案された。さらに彼らは根系の獲得した土壌体積と根系組織の体積の比を空間の獲得効率と定義し、この値を根系のアーキテクチャーの経済的評価の指標に用いている。しかし「空間の獲得効率」という値は、コンピューター・シミュレーション上では算出できるが、実際の計測データから得ることはほとんど不可能である。一方、従来から根のコストと機能を評価する指標として、SRL（根乾重あたりの根長）が使われてきた。本講演では1. スギとヒノキのトポロジー解析を行った後、2. SRLと根系のアーキテクチャーとの関係を簡単なモデル式で表現する試みを行う。

SRLモデルの導出にあたって樹木の構造を表現するパイプモデルを用いた。これを根系に当てはめた場合、一個の根端を支えるパイプは先端から基部まで一定の断面積を持つ。すなわち直径が根端数の0.5乗に比例する。根端数-直径関係を調べた結果はパイプモデルを支持していた。

次にパイプモデルに基づいて根の重量を表現した。先ず根の重量は吸収組織（表皮、皮層など）の重量と通導組織（木部、篩部）の重量とに区分される。前者は根長に定数 α で比例するとした。後者は内側リンクの体積に比例するとした。内側リンクの体積は、パイプモデルに従えば、（外路長合計-根端数） \times 平均内側リンク長 \times パイプ直径で求められる。さらに内側リンク長合計は根長に定数 k で比例する。これらの和によって根長を除するとSRLが次式で表現される。

$$SRL = 1 / (\alpha + \beta k (\text{外路長合計} / \text{根端数} - 1))$$

α 、 β はそれぞれ吸収組織、通導組織の形態特性を、 k および外路長合計/根端数は根系のアーキテクチャーを反映すると考えられる。外路長合計/根端数比とSRLの関係はほぼ双曲線状を示した。このことは α 、 β の関与を否定するものではないが、アーキテクチャーの影響が大きいことを示している。

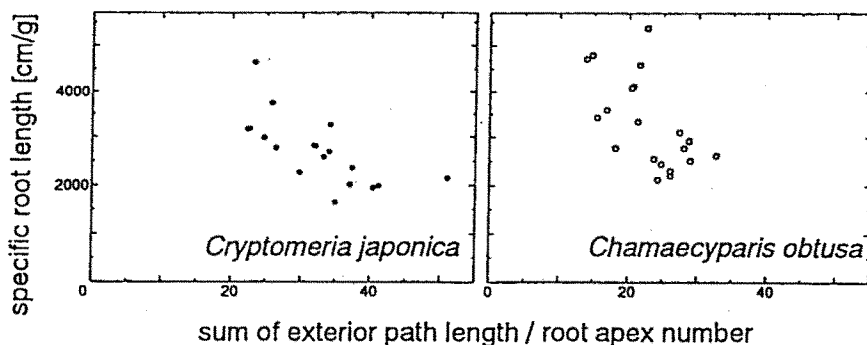


Fig. relationships between sum of exterior path length / number of root apex (Pe/n ratio) and specific root length (SRL). It seems to be supporting the SRL model which express as $SRL = 1 / [a + b k (Pe/n - 1)]$.

海岸クロマツ林内に生育するアカメガシワの根萌芽の分布
 ○峯吉 栄子・玉泉 幸一郎・齋藤 明(九州大農学部)

Spatial Distribution of Root Sucker in *Mallotus japonicus* (thunb.) mueller-arg

Growing Under a Coastal Black Pine Forest.

Eiko MINETOMA, Koichiro GYOKUSEN, Akira SAITO

(Fac. of Agr, Kyushu University)

1. はじめに

アメリカバナ、モミジバフウ、ニセアカシア、ヤマナラシ、シウリザクラおよびハコヤナギ属の数種は、水平根から地上莖（以下、根萌芽とする）によって栄養繁殖をすることが知られ、根萌芽はこれらの種の維持更新に寄与していることが報告されている。アカメガシワも根萌芽のみられる種として報告されているが、根萌芽の発生特性については明らかでない。そこで、海岸クロマツ林内に生育するアカメガシワを対象として、根萌芽の発生状況について調査した。

2. 調査方法

調査は福岡市西区にある九州大学早良実習場内で行った。林内に生育する15年生アカメガシワを対象とし、その周辺に生育する個体群の直径と苗高を測定するとともに位置図を作成した。更に母樹の水平根の中から1本を選択し、その全てを掘りあげて他の根萌芽とのつながりを確認した。掘りあげた材料は実験室に持ち帰り、根萌芽間の水平根の長さや根萌芽の前後での水平根の直径を測定した。更に、年輪解析によって根萌芽と根萌芽発生位置の水平根（母樹側と根の伸長側）の年齢を同定した。

3. 結果と考察

母樹からの水平根のうち1本を選んで掘りあげた結果、53の根萌芽を確認できた（図1）。従って、この53の根萌芽は同一の遺伝子からなる集団であった。最も遠い根萌芽は母樹から10.9m離れており、アカメガシワは根萌芽を連続的に発生することによって母樹から遠い地点でも栄養繁殖をする能力が認められた。

水平根上で隣接する根萌芽間の年輪数の比較を行ったところ、対象とした44対のうちの1対を除いた43対について伸長側の根萌芽のほうが母樹側より若かった（図2）。よって、アカメガシワの根萌芽は根の伸長側で起こり、そこから母樹側で不定的に根萌芽を発生するのはまれであるといえる。このほかに根萌芽の年齢構成、外部形態の結果もあわせて報告する。

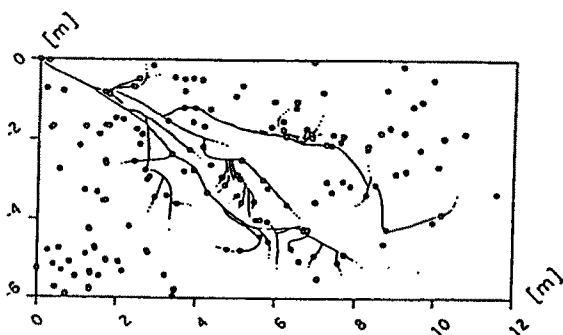


図1・アカメガシワの個体の生育位置と水平根の分布

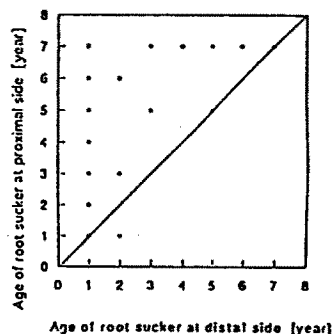


図2・水平根上で隣接する根萌芽の年齢の比較

ウンシュウミカンの地上部、地下部の相互作用に関する二、三の知見

山下研介（宮崎大学農学部）

Some information on an interaction between top and root in satsuma mandarin trees

Yamashita, K. (Fac. Agr., Miyazaki Univ.)

先に、無着果のウンシュウミカン若木を用いた実験で、1) 片側施肥を行うと、地上部、地下部共に施肥側の成長が優れるが、無機成分含有率(対乾物%)にはサイド間差がみられないこと、2) 不織布を用いて根域を制限し、①浅根主体、②深根主体、③浅根+深根の3区を設け、その成長を調査したところ、③がもっとも優れ、表層の細根の少ない②の成長が劣ることを報告した。ここでは、樹体内の相互作用、補償作用についてさらに知見を広めるため、片側灌水ならびに片側着果に関する実験を行った。

<材料及び方法>

実験1. 片側灌水に関する実験：無着果の‘日南1号’若木に剪定を行って地上部を二分し、それに対応して根系も二分した。次に、不織布コンテナ2ヶを引っ付けて並べ、山土を用いて根系の半分が東側コンテナに、残りの半分が西側コンテナに入るように定植した。処理区は、A. 片側灌水区(東側コンテナに1日当り1.8リットルの水道水をドリップ灌水)、B. 両側灌水区(両コンテナにそれぞれ1日当り0.9リットルずつの水道水を灌水)、C. 入れ替え灌水区(10日おきに灌水するサイドを入れ替えて片側灌水する処理区)の3区で、1区7本とし、実験はハウス内で行った。実験期間中に、土壌水分、WSD、SPAD値、光合成速度を調査し、終了時に解体調査を行った。

実験2. 片側着果に関する実験：‘日南1号’若木をハウス内に定植し、生理落果後に樹勢、着果数の似かよった木を選んで摘果を行った。処理区は、木の東側に集中して着果させる片側着果区と、木全体にまんべんなく着果させる対照区の2区で、1区8本とし、いずれも1果当り葉数を30とした。果実の肥大発育、光合成速度、果実品質を調査し、実験終了時に解体調査を実施した。

<結果及び考察>

実験1. 片側灌水に関する実験：片側灌水区、入れ替え灌水区共に、灌水をしない側の土壌水分は極めて低かったが、WSD、SPAD値、光合成速度はこれらの処理区の灌水側、ならびに両側灌水区の二つのサイドのそれと差がなかった。また、解体時に地下部の成長を見ると、片側灌水区、入れ替え灌水区のいずれも、サイド間差は見られず、地上部の成長についても差がなかった。この結果、水分については、これまでに報告されているように、樹体内にいわゆる補償作用が強く働いていることがあらためて確認された。しかし、片側灌水区、入れ替え灌水区共に、樹体成長量は両側灌水区の90%程度であり、非灌水側の根系におけるマイナスファクターの生産と樹体成長に及ぼす悪影響が推測された。

実験2. 片側着果に関する実験：片側着果区の果実の肥大発育は、対照区と同程度であったが、収穫果のBrix、酸度はかなり劣った。解体時に地下部を見ると、着果側の根系の成長が極めて大で、当初の予測に反した結果となった。地上部、地下部の4サイド間にどのようなシグナルが交換され、成長がこのように制御されたかは、パイプセオリー、シンク・ソースの問題も含めてさらに検討を要するところである。

植栽鉢から放出される二酸化炭素に占める土壤微生物と根の呼吸速度の割合
大橋瑞江° 玉泉幸一郎 齋藤明 (九州大学農学部)

The ratio of carbon dioxide evolution by the roots of potted
Quercus acutissima seedlings and microbial respiration
Mizue OHASHI, Koichiro GYOKUSEN and Akira SAITO
(Fac. of Agric., Kyusyu Univ)

はじめに

土壤から二酸化炭素が放出される現象は一般に土壤呼吸と呼ばれる。近年、地球温暖化に関与する因子として CO_2 動態が注目されており、土壤圏での CO_2 動態を示す指標として土壤呼吸の研究が重要視されている。土壤呼吸は主に植物の根と土壤微生物の呼吸に由来するが、土壤が開放系であるため両者を分離して測定することは難しい。そこで本研究では、閉鎖系である植栽鉢を用い、鉢からの CO_2 放出量に占める根と土壤微生物の呼吸の割合について検討した。

実験方法

容積6ℓの素焼きの鉢に植栽された1年生のクヌギ苗を材料に用いた。呼吸速度の測定には容積10ℓの通気式開放系の呼吸箱を用いた。クヌギ苗の鉢部分のみを呼吸箱に密閉し、野外におかれた直径1m、高さ80cmのコンクリートポット内に埋め込んで測定を行った。呼吸箱には $1.5\ell\text{min}^{-1}$ で通気を行い、送入空気と送出空気の CO_2 濃度差から鉢からの CO_2 放出量を算出した。測定は地上部+根+土壤、根+土壤、土壤の3つの状態として野外の温度条件で48時間連続して行った。また鉢の深さ10cmの温度を同時に測定した。

結果と考察

図は、鉢の深さ10cmにおける地温と CO_2 放出量の関係を示している。

いずれの測定状態においても直線で近似される関係が認められ、地上部除去、根系除去によって CO_2 放出量は減少した。地上部+根+土壤と土壤の CO_2 放出量の差が根の呼吸速度であるとして、 25°C から 30°C における CO_2 放出量の差を回帰直線式から求めた。その結果、根の呼吸速度は全 CO_2 放出量の45~50%、土壤微生物の呼吸速度は50~55%と算出された。

苗木の地上部の除去によって根の呼吸は70%低下した状態で安定した。この原因についてははっきりしないが、同化産物の供給の停止によって根の呼吸が維持呼吸のみになった可能性があり、この場合根は呼吸の約3分の2を成長呼吸として行っていたと考えられる。

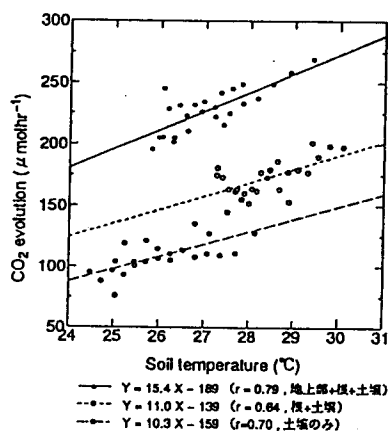


図 地温と CO_2 放出量の関係

稲株の周長と莖数を利用したファイトマーの大きさの簡易推定
 森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳（東京大学大学院農学生命科学研究科）

Rapid Estimation of Phytomer Size in Rice
 Morita, S. Hagiwara, Y. and Abe, J. (Graduate School of
 Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)

著者らは、イネの根系形成を莖葉部の生育と関連づけて理解するために、莖葉部を構成しているファイトマー (Nemoto et al., 1995) の数と大きさに着目して解析を進めている (森田ら, 1995a; 森田ら, 1995b; 森田ら, 1996)。その際、ファイトマーの数は展開葉の数を測定することによって算出できるが、ファイトマーの大きさをどのように評価したらよいかはまだ確定していない。莖から出現する根の数や直径が、ファイトマーの莖部分の直径と密接に関係している (根本・山崎, 1989) ことを考えると、ファイトマーの大きさの指標としては莖直径が最適と考えられる。しかし、莖直径の測定は容易でないため、従来は莖葉部全体の乾物重を総ファイトマー数で割ったものを、ファイトマーの指標としていた。しかし、この評価方法だと生殖相におけるファイトマーの大きさと根の生育との関係が実態に合わず、ファイトマーの大きさに莖だけでなく葉の乾物重が影響するなどの問題点があった。

そこで、1株あるいは1個体を構成する莖の直径の最大値でファイトマーの大きさを評価することを試みた。1995年、栃木県の農家水田において稚苗と乳苗を慣行移植栽培したものを材料とした。生育をおって株の基部の周長と莖数を測定し、著者らがすでに開発した方法 (森田ら, 1989) を用いて莖の直径の最大値を推定し、また、株周長/莖数との比較も行なった。その結果、莖直径および株周長/莖数のいずれも生育をおってほぼ同様に直線的に増加しており、両者の間に有意な相関関係が認められた。したがって、莖直径をファイトマーの大きさとする場合、株周長/莖数でも相対的な指標としては代用できると考えられる。ただし、生育初期は両者の関係が必ずしも明確でなかったが、これは莖数が少ないために測定誤差が若干大きくなったためと考えられる。なお、莖直径に対する株周長/莖数の値は稚苗 > 乳苗であった。

森田茂紀・根本圭介・胡東旭・春木 康・山崎耕宇 1989. 日作紀 58:143-144.; 森田茂紀・山田章平・阿部 淳 1995a. 日作紀 64:58-65.; 森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳 1995b. 日作紀 64(別):135-136.; 森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳 1996. 日作紀 65(別):216-217.; 根本圭介・山崎耕宇 1989 日作紀 58:440-441.; Nemoto, K., S. Morita and T. Baba 1995. Crop Sci. 35:24-29.

The influence of root restriction on the extent of cool temperature induced male sterility in rice: Preliminary results

M. LIEFFERING, H. YAMANISHI, K. YOSHIDA

Tohoku National Agricultural Experiment Station, Morioka, Japan

For *Oryza sativa* L. (rice), cool temperatures during booting can induce male sterility of the spikelets, leading to decreases in grain yield. Though the specific mechanism(s) causing sterility are not known, it has recently been suggested that the shoot to root dry weight (d.wt) ratio (S:R) may play an important role in determining the effects of low temperatures on spikelet fertility. The research reported here investigated the effects of pot size induced root restriction and the level of fertilizer addition on shoot and root growth and the extent of cool temperature induced male sterility. Rice plants (cv. Sasanishiki) were grown under flooded conditions at normal summer glasshouse temperatures (20 - 35 °C) and light levels in different sized pots (1.5, 4 or 15 liters) containing soil with fertilizer (10% w/w nitrogen (N)) added either at a level of 5g per pot (amount constant - AC) or 1.4 g per kg of soil (concentration constant - CC). At booting half the pots from each treatment were moved into a controlled environment chamber and subjected to cool temperatures (12 °C) for 5 days. Cool treated plants were moved back to the glasshouse and all plants were harvested at grain maturity. For all pot sizes and levels of fertilizer addition, total plant d.wt and S:R were similar for control and cool treated plants. However, sterility increased from approximately 15% for control plants to between 76 and 95% for cool treated plants. Growth and sterility data for cool treated plants are presented below:

Pot size	Fert. add.	Shoot d.wt (g)		Root d.wt (g)		S:R		Sterility %	
		AC	CC	AC	CC	AC	CC	AC	CC
small		17.3	7.1	4.7	2.7	3.7	2.6	93.3	77.9
s.e.		1.2	0.4	0.1	0.4	0.2	0.2	1.2	1.8
medium		22.4		6.8		3.3		80.1	
s.e.		1.4		0.8		0.1		1.3	
large		29.6	71.9	11.4	19.5	2.6	3.7	76.1	95.1
s.e.		0.6	1.9	1.4	1.6	0.2	0.2	1.3	2.1

N.B. AC and CC fertilizer levels were the same for medium sized pots

With CC, decreasing pot size resulted in a greater reduction in the total amount of nutrients available compared to AC. This is reflected in the greater decrease in shoot (leaves, stems and grain) and root d.wt with CC. Root d.wt decreased to a greater extent than shoot d.wt with AC, leading to an increase in S:R. In contrast, with CC, shoot d.wt decreased more than root d.wt and S:R decreased. Though tissue N analyses have yet to be carried out, S:R is frequently correlated with plant N content and it is probable that the effects of pot size imposed root restriction on growth and S:R are largely related to N availability and uptake. Sterility level increased with smaller pot sizes with AC but decreased with CC. Previous studies have found that increased plant N content is usually associated with decreased spikelet fertility. It is suspected that the effects of pot size imposed root restriction on the level of cool temperature induced sterility are due to the influence of N availability on plant processes rather than root restriction *per se*. Further experiments are currently being carried out to test this.

RICE ROOT GROWTH AND FUNCTION IN THE RAINFED LOWLAND ECOSYSTEM

L.J. Wade

IRRI, P.O. Box 933, Manila, Philippines.

Drought is the major limitation to productivity of rainfed lowland rice. Extraction of water under drought is dependent upon an effective root system, especially in the complex anaerobic-aerobic transitions of the rainfed lowland ecosystem (Wade et al 1996b). This paper reports progress in root studies on rainfed lowland rice.

A greenhouse experiment was conducted to examine genotypic variation in root characteristics of 8 lines (CT9993, IR52561, IR58821, IR62266, KDML105, Mahsuri, Namsagui19, and IR20) under well-watered and water deficit conditions (Azhiri-Sigari et al 1996). In the stress treatment, water was withheld from panicle initiation (PI) until leaf rolling scores of 5 were attained, then pots were rewatered. In the drought treatments, the lines transpired almost all of the available water, with extraction ranging from 3.15 kg for CT9993 to 3.73 kg for IR58821. The early line CT9993 had slightly more water available prior to rewatering, relative to the other lines. During the recovery period, cumulative transpiration was large for CT9993 and KDML105, and small for IR62266 and IR58821. Because of the severity of the drought stress imposed, root length failed to recover on rewatering, except in KDML105. This result may help to explain the popularity of KDML105 in the drought-prone rainfed lowlands of northeast Thailand, and its reputation among farmers for drought tolerance. Research is proceeding to further examine the basis of recovery ability.

Whilst plant breeding has successfully manipulated crop phenology for drought escape, progress has been slow in selecting for complex and less readily observed traits, such as root characteristics. Consequently, molecular markers for root traits are being sought as an aid to selection. Recombinant inbred lines have recently been developed from crosses between the 8 lines studied above. Variation in gross root morphology is now being examined among these recombinant inbred lines.

Drought responses of 2 cultivars of similar plant size and crop duration were compared in greenhouse and field experiments (Wade et al 1996a). Transpiration slowed in RC14 as water stress intensified, but not in IR72. Yield of IR72 was higher than RC14 in irrigated conditions, but the ranking was reversed under drought. Consequently, IR72 and RC14 were considered a suitable probe set, with IR72 as the drought susceptible and RC14 as the drought resistant. Progress in selection for drought resistance is more likely if breeding nurseries are representative of the target population of environments, selection nurseries are adequately characterised, and probe

lines of similar plant size and crop duration, but which differ in response to drought, are used as a basis for comparison.

In the Barind tract of northwestern Bangladesh, hardpans are common at about 10 cm depth. Recent experiments have examined the impact of breaking the hardpan on performance of rainfed lowland rice (Wade 1996). Perforation of the hardpan by roots of pre-rice sesbania has resulted in an increase in rice yield in the last two seasons. The basis for this response needs to be examined further.

The capacity of rice roots to penetrate soil restriction zones was examined by conducting experiments at Rajshahi, Bangladesh (Wade et al 1996b). The same 8 lines were grown in 3 environments (irrigated, rainfed, and late-planted rainfed), with each location comprising a randomized complete block design with 5 replicates. As drought intensified during grain filling, soil penetration resistance increased dramatically in both rainfed locations, especially at 20 cm depth, where resistance rose to 3 MPa. Most roots remained shallow in all three environments. Lines differed in the capacity of their root systems to penetrate restriction zones, with greater root diameter associated with enhanced penetration to depth. IR58821 was very effective in penetrating hardpans. Roots that penetrated restriction zones were thicker than roots of the same variety at lower impedance. Control of root growth and resource capture in rainfed lowland conditions needs to be better understood. In particular, is root penetration to depth limited by chemical or physical barriers, rate of onset of stress, oxygen supply, nutrient distribution, root signals, or their combination (Wade et al 1996b). Work is proceeding to elucidate these factors.

References

- Azhiri-Sigari, T., Yamauchi, A. and Wade, L.J. (1996). Response of root traits in rainfed lowland rice to drought and rewatering. Japan-IRRI Shuttle Review Meeting, Tsukuba, Japan, 24-25 April, 1996. 14 pages.
- Wade, L.J. (1996). Soil compaction - make it or break it for rainfed lowland ecosystem. In "Management of Clay Soils in the Rainfed Lowland Rice-Based Cropping Systems", a workshop held in Manila, Philippines, November 20-22, 1995. ACIAR Proceedings Number __, ACIAR Canberra. (In press).
- Wade, L.J., McLaren, C.G., Samson, B.K., Regmi, K.R. and Sarkarung, S. (1996a). The importance of environment characterisation for understanding genotype by environment interactions. In "Plant Adaptation and Crop Improvement", (Eds. M. Cooper and G.L. Hammer), CAB International, Wallingford UK. (In press).
- Wade, L.J., Moya, T.B., Pantuwan, G., Regmi, K.R. and Samson, B.K. (1996b). Research at IRRI on rice root systems for drought resistance. In "Perspective on Ideotype of Rice Root System", (Eds. S. Morita and J. Abe), World Scientific Publishing, Singapore. (In press).□

Descriptive Model for Root Systems Distribution in Lowland Rice

Jin Chul Shin

National Crop Experiment Station

Seodundong, Kwonseon-gu, 441-100, Suweon, Korea

Introduction

The rice plant's root distribution pattern is important, as lowland rice, i.e. rice growing under submerged conditions, has a shallow root system compared to upland crops, but, it has often been ignored. The root characteristics of rice are positively correlated with yield and yield-affecting properties. The competition between plants resulted from the overlapping of their root systems. Intraspecific competition is closely related to the plant density in higher plant. It is obvious that a deep rooting system can explore more soil volume and thus may have access to more nutrients.

Knowledge of the crop's rooting pattern can be advantageous to improve management of the soil-crop system and enables choosing the appropriate variety in a particular cropping system, or under particular soil conditions. The purpose of the present study was the geometrical quantification of rooting pattern in a number of rice varieties.

Theory

The root system of rice under lowland conditions shows a relatively simple pattern. All the primary roots spring as main axes from the nodes which are placed closely to one another at the base of each tiller, and they continue to grow straight in the direction in which they set off at the plant's base. The coordinate system defined by the azimuth angle φ , elevation angle ψ , and the

radius r representing the distance to the plant's base. In its simplest form, the spatial distribution of roots can be described as being *spherical*: in each direction (ϕ, ψ), the same number of roots is found per unit of solid angle.

Let n be the number of root axes per unit of solid angle. For a spherical distribution, the total number of roots per plant, N , is then written as:

$$N = \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} n \cos \psi \, d\phi \, d\psi = 2\pi n$$

So, $n = \frac{N}{(2\pi)}$ per steradian.

In reality, however, the distribution of rice roots is not always spherical. Accordingly, it should be adapted. This is conveniently done by defining a dimensionless density function $g(\psi, \phi)$ such that the root number in the direction ψ is written as:

$$n(\psi) = \frac{N}{2\pi} g(\psi, \phi) \quad \text{sr}^{-1}$$

where p is a shape factor and g is of the form

$$g = k e^{-p\psi}$$

The scale factor k follows from the condition that the integral of n over the hemisphere contained by the domains of ψ and ϕ should be equal to N , so that

$$k = \frac{p^{2+1}}{e^{p\pi/2} - p}$$

The root length density $\rho(\psi, \phi)$ is defined as the root length per unit of soil volume (L^{-2}). Where the number of root axes in a given solid angle is not affected by the distance from the plant, the root length density should depend on the distance r according to

$$\rho(\psi, r) = \frac{Nk}{2\pi r^2} e^{-p\psi}$$

This equation serves as a basis to estimate N and p from observed data.

Relationships between rice root growth and nutrient uptake

C.A. Beyrouty¹, Y.H. Teo¹, D.B. Stephens¹, and E.E. Gbur²

¹Dep. Of Agronomy, ²Agricultural Statistics Laboratory, Univ. Of Arkansas, Fayetteville, AR 72701.

Introduction

Research has been conducted to identify factors affecting nutrient uptake and root growth by lowland irrigated rice. A mechanistic model has been used to predict nutrient uptake by a number of agronomic crops. The basic assumptions of the model are that nutrient movement to a plant root is controlled by mass flow and diffusion and that uptake follows Michaelis-Menten kinetics. Until recently, the model had only been evaluated on upland crops such as soybean and corn. We have evaluated the model for lowland irrigated rice under greenhouse and field situations and found satisfactory prediction of N, P, and K uptake by rice during vegetative growth.

The value of this model is that a separate evaluation of the influence of each of the 11 soil and plant parameters required by the model to predict nutrient uptake can be made. This allows one to identify the soil and plant characteristics that are most important to enhancing nutrient uptake, thus providing a major focus for research.

The purpose of this discussion is to describe the relationship between root growth and nutrient uptake by lowland irrigated rice. The evaluation of a predictive model and the influence of several plant parameters on nutrient uptake by rice will be presented.

Evaluation of a model to predict nutrient uptake

The Barber-Cushman model (1981) was used to predict N, P, and K uptake by rice. This model requires the input of the following parameters:

L_0 = initial root length

r_0 = root radius

k = rate of root growth

r_1 = half distance between root axes

V_0 = water influx at root surface

I_{max} = maximal influx at high solution concentration

K_m = Michaelis Menten constant

C_{min} = minimal nutrient concentration where influx = 0

b = soil buffer power for a specific element

D_e = effective diffusion coefficient of a specific element

C_1 = initial solution concentration of an element

Three rice cultivars were grown in the greenhouse and the field and the model parameters were measured. Results showed that the model satisfactorily predicted nutrient uptake during vegetative growth but not reproductive growth for the three cultivars. The predictive capability of the model did not depend upon cultivar or soil.

We used the model to predict the percentage of total N, P, and K uptake by rice that occurred at different soil depths and compared these values with root lengths measured at these depths. Nearly 90% of the total nutrient uptake and root length produced by the rice plant occurred within the top 20 cm of the soil profile. A higher percentage of P and K was absorbed in the 0- to 5-cm depth increment as compared to N.

Sensitivity analysis showed that the parameters most influencing N and P uptake were root competition, soil solution concentration, and the soil buffer capacity. Maximum influx rate (I_{max}), root radius, and the Michaelis-Menten constant most affected K uptake. Thus, under the conditions of these studies, N and P uptake can be enhanced simply by fertilizer application to increase soil solution concentrations of these elements and reduce root competition. Uptake of K can be enhanced by selecting rice cultivars that have a greater capacity to actively absorb K from solution. These rice cultivars had similar root lengths under field conditions but were found to differ in uptake of K. A related study showed that the three cultivars differed in I_{max} for K but not for P and N. Thus, there appears to be some genetic variability in parameters affecting K uptake rates. The genetic variability in I_{max} should be explored more fully to possibly enhance uptake under field conditions.

Salt affects K uptake kinetics

The results from the sensitivity analysis of the model parameters suggested that I_{max} was an important parameter regulating K uptake by rice. Salinity is a problem on many of our rice producing soils in Arkansas and rice producers limit K fertilizer application to these soils to reduce the possibility of enhancing salinity damage to the rice plant. We were interested in evaluating the effect of salt type and salt concentration on the I_{max} values for K uptake to develop K fertilization strategies for these salt affected soils. To accomplish this, we subjected a salt sensitive and salt tolerant rice cultivar grown in nutrient solution to different rates and combinations of NaCl and $CaCl_2$ salts for 58 days. This was followed by a K depletion study in which values of I_{max} for K were calculated for each cultivar-salt treatment combination.

Depletion of K could not be described by Michaelis-Menten for the salt-tolerant cultivar subjected to high concentration of NaCl and for the salt-sensitive cultivar subjected to high concentration of all salts and low concentration of NaCl. Addition of $CaCl_2$ to the salt-tolerant cultivar increased I_{max} by 81% over the zero salt control. Values of I_{max} for both cultivars, where K uptake followed Michaelis-Menten, were not different from the zero salt control. Thus, Na appeared to either reduce or have little negative effect on K uptake. With the salt-tolerant cultivar, Ca actually stimulated the ability of the rice plant to absorb K.

Conclusion

Our studies have shown that nutrient uptake by lowland irrigated rice is influenced both by root morphology and uptake kinetics. Differences in root surface area will not necessarily explain cultivar differences in nutrient uptake. Selecting cultivars with particular root growth characteristics for specific situations may not achieve the desired outcome of enhanced nutrient uptake. It should also be kept in mind that uptake kinetics in a plant may be modified by factors that do not result in a modification in root morphology. A knowledge of kinetic parameters and root morphology should be used in developing strategies for improving nutrient uptake efficiency.

Reference

Barber, S.A. and J.H. Cushman. 1981. Nitrogen uptake model for agronomic crops. P. 382-409. In I.K. Iskander (ed.) Modeling wastewater renovation-land treatment. Wiley-Interscience Publ., New York.

1996 年度根研究会学術功労賞

根の水分屈性に関する研究

東北大学遺伝生態研究センター 高橋秀幸

アメリカ留学中の1984年に、私は重力屈性の研究を行うために、エンドウ突然変異体の“*ageotropum*”の種子を採ろうとして、温室でエンドウ栽培をはじめました。そのエンドウの根は発芽後地表に飛び出してくるのですが、私は多くの根が再び土の中に戻っていく現象に遭遇しました。私はすぐに水分勾配を実験的に形成させるチャンバーをつかって実験を行い、温室でみた現象は、湿った土と比較的乾燥した温室内空気との間に生じる水分勾配に反応して生じる水分屈性であることを見いだしました。屈性を誘発する刺激が水分勾配ということで、最初は、正確な湿度の測定と水分勾配の形成が問題でしたが、最近では半密閉系に水供与体と各種の飽和塩溶液をおいたり、水ポテンシャルを一定にした寒天片を根に直接投与することによって、比較的正確な水分勾配に根をさらすことができるようになりました。このようにして、私の根の水分屈性の研究は、重力屈性突然変異体を用いた実験中の偶然の発見からスタートしました。

水分屈性と重力屈性の相互作用

上記の重力屈性を欠損した *ageotropum* エンドウの根が示す水分屈性から、正常種の根の水分屈性が重力屈性反応によってマスクされていること、さらに、重力屈性突然変異体が水分屈性を研究するために有用であることは、容易に推測されました。したがって、私は、一方ではこの突然変異体を使って水分屈性発現の機構を解析し、それをよく研究されている重力屈性と比較する研究を行い、他方では他の植物種も含めて自然界における根の水分屈性の意義とその遺伝的変異を解析して、水分屈性が乾燥ストレス回避に果たす役割を理解したいと考えました。そのためにはじめに行った実験がトウモロコシ、エンドウ、コムギなどを用いて、水分屈性と重力屈性の相互作用を検討することでした。そうした一連の研究から水分屈性に対する重力屈性の干渉の程度が明らかになりましたが、小柳敦史氏のコムギを用いた研究は、二つの屈性能力には品種による遺伝的変異が存在することもわかりました。

水分屈性が発現するしくみ

根冠による水分勾配の感受：根の水分屈性発現のための水分勾配の感受センサーは根冠にあるらしいことは、根冠を除去したり、根の局部を覆って水分勾配にさらす実験や、水ポテンシャル勾配を局所的に与える実験から明らかになりました。とくに自然界での現象を考慮した場合、根はどれだけの水分勾配に反応して水分屈性を発現させるのかが問題になります。これまでの実験で、根は 0.5 MPa mm^{-1} 以下の水分勾配に反応して水分屈性を発現させることがわかっています。小さい水分勾配の投与というのは方法的に困難な面がありますが、平沢正氏らは、水分屈性の発現に必要な水分勾配はさらに大変小さい値であることを発見しています。

水分屈性とカルシウム：重力屈性を含む各種の現象のシグナル伝達にカルシウムイオンが重要な役割を果たしていることが指摘されていますが、根の水分屈性とカルシウム (Ca^{2+}) の関係もわかってきました。EGTA の処理で根端のアポプラストの Ca^{2+} をキレートすると、根は水分屈性を示さなくなり、EGTA を Ca^{2+} で置き換えると、根は再び水分屈性を示すようになります。また、根端を Ca^{2+} で前処理しておくとも水分屈性が促進されます。さらに、水分屈性は Ca^{2+} イオンチャンネルの阻害剤でも阻害され、細胞膜を通じた細胞内への Ca^{2+} の流入が水分屈性の発現に必要であることが示唆されています。一方、根冠片側にカルシウムを含ませた寒天片を処理して、人為的なカルシウム勾配を形成すると根はカルシウム濃度の高い側の伸長促進を伴って、カルシウム源とは逆の方向に屈曲しますが、このカルシウム誘導性の屈曲には水ストレスが促進的に働きます。水分屈性とこのカルシウムによる屈曲の発現時間や経時的変化にも興味深い事実が認められ、水分勾配が根冠中の Ca^{2+} の動態に作用するものと考えられます。

根の屈性と初期伸長域：根冠の片側に Ca^{2+} を与えると根は Ca^{2+} 源とは反対側に屈曲しますが、その場合、 Ca^{2+} 側伸長域の伸長促進を伴います。一方、 Ca^{2+} を初期伸長域 (Distal Elongation Zone; DEZ) の片側に投与すると、その伸長阻害作用によって根冠の場合とは反対に、根は与えた Ca^{2+} 側に屈曲します。この DEZ における伸長阻害が重力屈性との関連で注目されていますが、最近私たちは大変興味ある事実を発見しました。すなわち、*ageotropum* エンドウと正常に重力に反応するエンドウの根を用いて、根冠と DEZ に対するカルシウム処理の作用を比較すると、根冠に与えたカルシウムには重力屈性変異体も正常種も同じように反応しますが、DEZ にカルシウムを与えたときに正常種でみられる屈曲が、*ageotropum* ではまったくみられません。この点、*ageotropum* の DEZ はカルシウムに対して非感受性といえます。このような事実から、*ageotropum* の重力屈性欠損が DEZ のカルシウムに対する反応の欠損に原因する可能性と、水分屈性と重力屈性では異なる発現機構の存在する可能性が示唆されています。

水分屈性における偏差成長のしくみ：根冠による水分勾配の感受が根冠カルシウムの動態に作用し、そこで生起する情報が伸長帯に伝達されて偏差成長を誘発すると考えられますが、水分勾配感受機構とともに、その詳細なメカニズムは今後の研究で解明されなければなりません。これまで、水分屈性発現に必要な刺激時間 (presentation time) は 2 分以内と推定されています。しかし、その刺激の根冠部から伸長帯への伝達に 90 分以上を要する点では、重力屈性とは異なるシグナル伝達機構の存在が考えられます。

私が根の水分屈性の研究を始めまして、10 年になりますが、その間、多くの方々のご支援やご協力を得て、水分屈性もやっとサイエンスとしての研究対象になりつつあるように思います。最後に、本研究に共同研究者としてご協力いただいた先生方、また今回の受賞に際し、ご推薦とご審査を賜りました先生方に深く感謝申し上げます。