

### ◆◆第3回根研究集会プログラム◆◆

1993年5月15日(土) つくば市アルスホール

#### 〈一般講演 - 午前の部〉

1. 画像解析装置を用いたイネ根長の測定. 10:00~10:15  
村上敏文<sup>1</sup>・米山忠克<sup>2</sup>・亀川健一<sup>2</sup>・関矢信一郎<sup>2\*</sup>  
(熱帯農業研究センター<sup>1</sup>・農業研究センター<sup>2</sup>・現北海道農業試験場\*)
2. 作物の根系調査法 - 根量・分布の評価法を中心に. 10:15~10:30  
阿部淳(東京大学農学部)
3. コムギ, ライムギおよびライコムギの分けつ初期における根活動の比較. 10:30~10:45  
水落功美・阿部勝繁(北海道農業試験場)
4. イネの根の生育(1) 1本の根の一生. 10:45~11:00  
森田茂紀(東京大学農学部)
5. スギ幼齢木の根系への乾物分配. 11:00~11:15  
城田徹央(九州大学農学部)
6. 土壌密度と根密度分布の関係. 11:15~11:30  
波澤栄・国立卓生(東京農工大学農学部)
7. 乾燥ストレスがミシマサイコ (*Bupleurum falcatum* L.)の根部収量と  
Saikosaponin含量に及ぼす影響について. 11:30~11:45  
南基泰・秦和弘・長谷川千晃・定岡麻衣子・大江千里・芦田馨・杉野守(近畿大学農学部)

#### 〈記念講演〉

- |         |                      |       |
|---------|----------------------|-------|
| 薬用植物の根  | 寺林 進(〔株〕ツムラ生物・化学研究所) | 13:00 |
| 果樹の根    | 山下研介(宮崎大学農学部)        | }     |
| イネ科作物の根 | 山内 章(名古屋大学農学部)       |       |

#### 〈休憩〉

14:45~15:00

#### 根研究会総会

15:00~15:30

#### 〈一般講演 - 午後の部〉

8. ジベレリンとアンシミドールによる根の伸長制御と細胞壁. 15:30~15:45  
谷本英一(名古屋市立大学教養部)
9. ムギネ酸類に関する研究. 15:45~16:00  
金澤健二・西澤直子・芽野充男・森敏(東京大学農学部)
10. ラッカセイにおける根毛の発生. 16:00~16:15  
大門弘幸・中川雅夫(大阪府立大学農学部)
11. Split Root法と茎流センサーを利用した根の吸水機能の解析. 16:15~16:30  
小沢聖(東北農業試験場)
12. イネ種子根の内部形態の品種間差異. 16:30~16:45  
上埜喜八(東京農業大学生物産業学部)
13. イネ短根突然変異体の選抜とその特性. 16:45~17:00  
一井真比古・石川道夫(香川大学農学部)

# 1 画像解析装置を用いたイネ根長の測定

村上敏文<sup>1</sup>・米山忠克<sup>2</sup>・亀川健一<sup>2</sup>・関矢信一郎<sup>2\*</sup> (1; 熟研、2; 農研センター、\*; 現北農試)

作物の養分吸収を調べる上で、直接養分と接する根系を把握することは、非常に重要である。しかし、水稻根についての定量的な研究は、なかなか進んでいない。これは、根長・根表面積と言った基本的な数値さえ簡単に得られないことによる。本報告では、水稻根の長さを短時間で測定する方法とその問題点について述べ、さらに、それを使って得た結果について報告する。

インディカ多収系統(関東146号、北陸129号、鴻75号、水原258号)、日印交雑系統(鴻96号)及び、ジャポニカ普通系統(むさしこがね、アキチカラ、初星)の8品種を灰色低地土圃場にて栽培し(22.2株/m<sup>2</sup>、N-P-K、180-44-83kg/ha)、各品種とも、出穂期から約20日目に、株際2点、株間1点からコアサンプル(直径2.6cm、長さ20cm)を4連で採取した。サンプルは、煮沸して根と土を分離し、根を黒く染色してメッシュ上で分散させ、透明フィルムに転写、拡大コピーを用いてその画像を作成し、それを小型TVカメラで画像解析装置(Luzex 5000)に取り込み、根長を測定した。根長は、根画像の画面上での画素面積から換算し、補正係数は1.153を用いた。測定に要した時間は、1サンプルあたり根の分離から測定までで約50分であった。根長密度(根長/土体積)は、初星の96.7から鴻75号の183.5cm/cm<sup>3</sup>まで変動し、遺伝的に近い品種は、同じグループにまとまっていた(5%水準)。得られた根長の値は、これまで報告されたものの10から20倍の大きさであった。この理由として、本法により根の洗浄中の損失が最小限に抑えられたこと、加えて13μmの太さの細根まで測ることができたことによると考えられる。比根長(根長/根重)は、787から1074m/gまで変動したが、品種間差はあまり明瞭でなかった。しかし、水原258号だけは、他の多収品種に較べ太く短い根を展開していることが推察された。

以上のようにこの方法は、根長を比較的少ない労力でしかも高い精度で測定することができる。さらに研究を進めて行けば、根長を指標とした品種選抜により、効率的な養水分吸収を行う品種の作出も可能になるかもしれない。そのためには、今後、測定時間の短縮、サンプリング方法、時期の検討、旧年度の根の除去法の開発等の問題を解決して行かなければならない。

## 2

### 作物の根系調査法 — 根量・分布の評価法を中心に

阿部 淳(東京大学農学部)

圃場における根系の発達過程や根の分布状態を直接的に観察することは困難であり、ある生育時期について土壌中の各部位にどれだけの根が存在するかを評価する方法が必要となる。そうした根系調査法についてはBöhmのテキストリが有名であるが、今回は日本の研究者ら(主に作物学)の間で実際に用いられている方法、あるいは、日本の研究者らが開発した方法をいくつか挙げてごく簡潔に紹介する。

**モノリス法、コア・サンプル法:** 金属製の枠を地表面から打ち込んで土塊(モノリス)ごと掘り採り、その中の根を洗い出して、前作の植物遺体などに由来する「ゴミ」を取り除いたのち、長さもしくは乾物重を測る。改良モノリス法<sup>1)</sup>、円筒モノリス法<sup>2)</sup>などがあり根量調査のほか、根系の形状観察や根の伸長方向の推定などにも応用できる。調査できる深さは最大30~40cmに限定される。掘り採りの容易さや圃場の損傷を抑えることに特に重点をおく場合は比較的小型のコアを採取する方法もある<sup>3)</sup>。条件にもよるが小型のものほど点数を増やすことが望ましい。

**Profile wall法(プロフィール法):** 圃場に観察者が入れる穴(塹壕)を掘り、その垂直壁面の各部位について根量を調査する。壁面に現れた根の切り口を計数する方法と、垂直壁面からさらに一定の厚さ(例えば5mm)土を除去する間に現れた根の長さを測定する方法<sup>4)</sup>とがある。トウモロコシなど畑地で深くまで根が伸長する作物の研究に適しているが、測定時の根の見落としなどに注意する必要がある。

**ミニリゾトロン、根箱など:** 透明板越しに壁面を根系が広がっていく様子を経時的に観察できる。塹壕壁面にあらかじめ透明な板を取り付けておく大がかりなリゾトロン<sup>5)</sup>のほか、直径数cm~10cm程の透明円筒を土中に埋設しておいて観察するミニリゾトロン(マイクロリゾトロン)がある<sup>6)</sup>。近年ではファイバースコープを用いてビデオに画像を取り込むミニリゾトロンが目ざされている。研究目的によっては根箱やアクリル円筒法<sup>7)</sup>も有効な方法である。

**その他:** いずれの方法においても実験の目的や作物の特性、土壌条件などを考慮し、採取・観察の位置(株からの距離・向きなど)や深さ・観測点数などを検討する。なお、深さ別の土壌含水量の変化や、夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルから間接的に根の深さを推定する方法もある<sup>8)</sup>。

**参考文献** (国内の研究を中心に各頁1・2例のみを挙げる。必ずしもその手法に関する初出のものではない) 1) Böhm 1979. Methods of Studying Root Systems. Springer-Verlag, Berlin. 2) 安田・小田 1957. 戸蒞他編 作物試験法. 農業技術協会, 東京. 145-153.; 前田ら 1993. 日作紀61(別1): 24-25. 3) 森田ら 1988. 日作紀57: 438-443. 4) 寺島ら 1987. 日作紀56(別1): 50-51. 5) Nakamoto et al. 1992. Jpn. J. Crop Sci. 61: 304-309.; Ito, O. et al. 3rd ISRR Symposium 要旨集. 90. 6) 婦山ら 1983. 日作紀52: 508-514. 7) 石本・浜口 1987. 日作紀(別1): 180-181.; 平沢ら 1991. 日作紀60(別1): 246-247. 8) 加藤ら 1992. 日作紀60(別2): 241-242. 9) 飛田ら 1992. 日作紀62(別1): 96-97.; 北村ら 1992. 日作紀62(別1): 204-205.

### 3

#### コムギ、ライムギおよびライコムギの分けつ初期における根活動の比較

水落勤美・阿部勝繁（北海道農試）

ムギ類は寒地の環境調和型農業にとって欠くことのできない構成作物であり、比較的小肥条件においても養水分吸収活動が旺盛でかつ高い生産力を発揮できるような遺伝型の作出が望まれている。北農試圃場で生産力を比較したところ、ポーランドのライコムギ（T）品種の中に現行のコムギ（W）およびライムギ（R）品種よりもかなり多収性を示すものが見出された。本報告では、これら3種のムギの特性が生育初期の根機能の面でどのように現われているかを生長解析法とRb土壌注入法により調査した。チホクコムギ（W）、PRESTO（T）およびPETKUSER（R）を供試し、1kgの多湿黒ボク土を充填した塩ビ筒に催芽種子8粒をまき、15℃の自然光リゾトロンで栽培した。施肥は-Pと+P（180mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg土）の2処理を各区に8筒ずつ設け、その他の養分と水は十分量施与した。播種後30日目に各区4筒ずつ採取し、残りのものには筒当たり5ml×4箇所=20mlのRbBr液を1cmの深さに注入し、11日後に採取して分析に供した。根長と根表面積は北大農学部作物栄養学講座の根系映像解析装置により測定した。

全乾物量は2回の採取時期とも+P系列ではR>T>W；-P系列ではT>R>Wであったが、生長解析期間の乾物生産速度や緑面積当たり純同化率についてみると+P系列ではW≒T>Rと逆転（培地容量による生育制限？）がおこった。一方、-P処理による純同化率の低下割合はW>>T>Rであり、特に根乾物当りの乾物生産速度の低下がWで著しかった。根の各種パラメータ当りの養分吸収速度も-P処理により大幅に低下するのが一般的であった。しかし、根量当りのP吸収速度は予想に反してWが最大であった。Rは低P条件に適應しており、Tはその形質のかなりの部分を受け継いでいると考えられる。

### 4

#### イネの根の生育（1）1本の根の一生

森田茂紀（東京大学農学部）

イネ個体群の地上部形質としては単位面積当たりの収量が重要であるが、これに対応する地下部形質は、単位面積当たりの根量およびその分布の様相ということになる。ここで問題となる個体群の根系は個体群を構成している個々の個体の根系から、またそれぞれの個体の根系は種子根および不定根から構成されている。種子根の始源体はすでに胚中に形成されているのに対して、冠根の始源体は茎の中に形成され、茎葉部の生育の進行、すなわち出葉と規則的に対応しながら、茎から出現し、伸長しながら分枝する。個体あるいは個体群の根系の量および分布を規定する重要な要因として、個々の1次根の生育を捉えると、1本の根の一生にはいくつかの生育段階を想定することができる。その中で最も重要なものが、茎からの根の出現であろう。個々の根の生育過程において、数→基部直径→伸長方向→直径の推移→分枝程度→最終根長、という順序でそれぞれの数や大きさが決定し、様々な形態を呈する冠根が形成されることになる。この場合、先に決まる形質の数や大きさが、後に決まる形質の数や大きさを規定する場合が多いのではないだろうか。なお、生育段階の最終過程である根の枯死、脱落に関するデータは重要であるにも係らず、現在のところ極めて不十分である。以上のような一生をたどる種子根や冠根の最終的な形態は、それぞれの形質の数や大きさが決まる時点における他の根の生育状況、あるいは茎葉部も含めた個体全体の生育状況と土壌条件とによって規定されることになり、その一生における出来事を物語っているはずである。

## 5 スギ幼齢木の根系への乾物分配

城田 徹央(九大・農・造林)

スギ幼齢木の地下部への乾物分配を明らかにするために、木部断面積—現存量関係を相対成長関係を用いて解析した。地際木部断面積と地上部及び地下部の現存量との関係はそれぞれ異なる相対成長式で表された。これらの式の相対成長定数は異なったが相対成長係数はともに1に近い値を示し、地上部と地下部の成長率が等しいことが示された。

個体内の1次枝や1次分枝根についても木部断面積—現存量関係に相対成長係数が1である相対成長関係が成立した。しかし1次分枝根をさらに細分した分枝根ではその関係は大きくばらついた。この理由として木部断面積に依存しない細根の発生や枯死による動態が影響していることが考えられた。

個体間および1次枝および1次分枝根の木部断面積—現存量関係を比較すると、地上部、地下部ともそれぞれ同一式とみなされ、パイプモデルが成立していた。このことから地下部の現存量はパイプモデルを用いて推定することが可能であったが、地下部への正確な乾物分配量を把握するためにはパイプモデルでは表現できない細根の動態をモデル化する必要性が指摘された。

キーワード：乾物分配、相対成長関係、根系、細根の動態、パイプモデル理論

## 6

### 土壌密度と根密度分布の関係

東京農工大学農学部 益澤 栄・国立卓生

トウモロコシの根箱(5×30×30cm)栽培試験を行い、土壌密度条件が根系の形や根密度分布に与える影響について研究している。昨年は、上層と下層に土壌密度差を与えた場合、根系の形や根密度分布に差が現れるが、根分布はすべて異方的フラクタルになり、またLシステムを拡張した根系生長モデルで根系の形を再現できることを報告した。今回は、低密度土壌層の深さや形に着目した実験を行い、いくつかの知見を得たので報告する。

土壌密度条件として、上層低密度/下層高密度の場合の低密度層深さを変えたもの、種子直下の正方形低密度領域の大きさを変えたもの(外側は高密度)を設定した。供試土壌は、市販の床土(グリーンソイル寒地用)である。根箱地表面(5×25cm)の中央に3粒播種して簡易ビニルハウス内で生育させ、2葉展開時に1株残した。管理は1週間毎の灌水(500ml)のみとした。播種後46日に、根系の形を崩さないようにしながら土を洗い流し、平面状に根系を展開した。葉齢は8葉程度であった。

得られた根系サンプルを観察した結果、不定根数はいずれも11本程度であったが、根系基部の広がり角(基部から7cmの平均広がり角)は低密度土壌層深さが増すほど小さくなり、また正方形低密度領域の大きさと根系基部広がり角には特徴的な傾向が認められなかった。1次分枝根の発生間隔や分枝角には土壌密度差の影響が認められなかった。根系サンプルの画像解析を行い、次の結果を得た。根系基部を中心とした半径Rの円を描き、円内に含まれる根系画像の画素数(根面積)を観測すると、全ての根系でべき分布が得られた。統計的な意味でフラクタルである。べき指数値(フラクタル次元)は低密度土壌深さが増すほど小さくなった。2.5cm格子ごとに根密度(根面積比)を表示すると、低密度土壌深さが浅い場合および正方形低密度域が小さい場合に、0.8を超える高い根密度部分が現れた。

## 7 乾燥ストレスがミシマサイコ (*Bupleurum falcatum* L.) の根部収量とSaikosaponin含量に及ぼす影響について

南基泰, 秦和弘, 長谷川千晃, 定岡麻衣子, 大江千里, 芦田馨, 杉野守 (近畿大・農)

ミシマサイコはセリ科ミシマサイコ属の薬用植物で、その根には薬効成分としてSaikosaponin a, c, d (Sa, Sc, Sd)が含まれている。しかし、本植物の生育時の環境要因が生育およびSaikosaponin含量にどのような影響を与えるかについての報告は少ないのが現状である。そこで、生育時期の一定期間に与えた極端な乾燥ストレスが、特に根部収量とSaikosaponin含量にどのような影響を及ぼすかについて実験をおこなった。実験方法は、1992年4月20日に播種し、ストレス処理は、収穫3カ月前から1カ月間乾燥処理(D1)、収穫2カ月前から1カ月間乾燥処理(D2)および生育期間中適時灌水の対照区(Cont.)の3試験区を設け、同年12月21日に収穫・測定をした。

地上部生育は、D1, D2とも処理終了時には葉の萎縮・下位葉の枯死等の被害が顕著に表われ、生育量もCont.と比較して減少した。収穫時には3試験区間に有意な差は認められなかったことから、ストレス処理によって抑制された地上部生育は約一カ月間で回復するものと考えられた。一方、根部の生育抑制はストレス処理終了後も継続し、収穫時には処理区の根径、主根乾重がCont.に対して有意に減少した。しかし、主根をコルク層・内鞘(pm), 柔組織・篩部(ph), 木部(xy)のそれぞれに分け、3部位の乾重を算出した結果、3試験区とも約3:9:2となった。このことから、ストレスによる根の生育量の減少は局所的に起こったのではなく、全体的に起こったものと考えられた。

主根のSa, Sc, SdをHPLCで定量し、乾重当たりの含有率を算出した結果、全ての試験区でSd>Sa>Scの順となり、既に報告している結果と同じであった。また、次に根をpm, ph, xyの3部位ごとに分け定量した結果、全ての試験区のpm, phにおいては、Sd>Sa>Scの順となった。しかし、xyでは全ての試験区においてSdが未検出で、Cont.ではSa>Sc、D1ではSc>Saとなり、D2ではScのみ検出された。Sdは部位ごとに各試験区間で比較してもその差は認められなかったのに対し、SaとScの割合は大きく変動した。Saはストレス処理時に減少したが、その後処理以前の環境下に戻すことにより回復したものと考えられた。以上のことより、Saは環境要因から影響を受けやすいが、Sdは影響を受けにくいことが認められた。また、このことがxyで大きくなったことから、ストレス処理によるxyの構造・代謝の変化によるものと思われた。

今回の実験は、全てロゼット株(栄養成長)の根を供試したものであり、現在抽たい株(生殖成長)の根についても検討中である。また、合わせてSEMを用いて微細構造の変化についても、より詳細に観察中である。

\*南基泰, 日本生薬学会第39回年会講演要旨集, p156, (1992).

## 8 ジベレリンとアンシミドールによる根の伸長制御と細胞壁

谷本英一(名古屋市大・教養・生物)

地上器官の伸長生長にジベレリン(GA)が重要な役割を果たしていることはよく知られている。エンドウでは、GA合成欠損変異体の研究から、茎の長さがGA1の内生レベルと相関が高いことが示されている。しかし、根の生長に関しては必ずしもこの相関は成立しない。GA感受性の矮性品種でも、根は「矮性」を示さず、外からGAを与えても根の生長は促進されない。GA合成欠損変異体は、リーキー変異体であることから、「根の生長にはごく少量のGAが働いている」ことが考えられる。そこで、GA合成阻害作用のある矮化剤・アンシミドール(ANC)を使って、GAとANCによる根の伸長制御実験を行ない、伸長制御に伴う細胞壁成分の変動を分析した。

植物材料は、主に矮性エンドウ(cv. Little Marvel)を用いた。

矮化剤ANCによる「根」の伸長抑制には、「茎」の抑制より高濃度の処理を必要とすること。GAによるANC抑制からの回復は、根の方が低い濃度で回復することが分かった。これらのことから、「根の伸長には茎より少量のGAを必要とする」という仮説が支持された。

ANCは根の伸長生長を抑制するだけでなく処理時間が長くなると根の肥大を引き起こす。GAが共存すると肥大は起こらず、正常な根の伸長が進行する。この様なGAとANCによる根の細胞形態の変化にともない、細胞壁の構成成分にどのような変化が起こっているかを調査した。

根の伸長帯の細胞壁では、ANC処理により、アラビノースの増加とガラクトースの低下が起こり、この変化は細胞壁のペクチンおよびヘミセルロース2の分画で認められた。また、細胞壁構成多糖類の分子量分布をゲル濾過クロマトで分析すると、GAはペクチン及びヘミセルロースの高分子成分の増加を引き起こしていることが分かった。以上の結果から、GAは細胞壁の構成成分のうち、アラビノースとガラクトースを含む多糖成分の変化を引き起こすと共にペクチンとヘミセルロースの高分子成分の供給を盛んにしていることが示唆された。

## 9

## ムギネ酸類に関する研究

金澤健二\*、西澤直子、茅野充男、森敏（東大、農芸化学）

イネ科植物は根から3価鉄のキレーターであるムギネ酸類を分泌し、土壤中の不溶態の $Fe^{III}$ を可溶化して $Fe^{III}$ -ムギネ酸錯体として根から吸収することにより鉄欠乏に対処している。今回は当研究室で得られた成果を中心に、ムギネ酸類に関して現在までに得られた、以下に列記するような知見を紹介する。

（ムギネ酸類の分泌）鉄欠乏処理によって分泌が誘導される。分泌には概日リズムがあり、日の出と共に2-3時間の間に集中的に分泌が行われる。この分泌は能動的である。

（ $Fe^{III}$ -ムギネ酸錯体の吸収） $Fe^{III}$ -ムギネ酸錯体の吸収も能動的に行なわれる。吸収能は鉄欠乏処理により上昇する。 $Fe^{III}$ -ムギネ酸に特異的なトランスポーターの存在が予想されている。

（ムギネ酸類の生合成）主要な生合成経路は、メチオニン→S-アデノシルメチオニン→ニコチアナミン→デオキシムギネ酸であり、他のムギネ酸類の生合成経路も現在解明されつつある。S-アデノシルメチオニン→ニコチアナミン、ニコチアナミン→デオキシムギネ酸はin vitro系が確立しており、各酵素の単離を試みている。これらの酵素活性はいずれも鉄欠乏処理によって誘導される。

（遺伝子）ディファレンシャルスクリーニング法により、鉄欠乏時に発現する遺伝子やペプチドをいくつか単離した。メタロチオネイン様遺伝子、ジオキシゲナーゼ様遺伝子が見つかったが、ムギネ酸に関して機能がはっきりしたものはまだ見つかっていない。

## 10

## ラッカセイにおける根毛の発生

\*大門弘幸・中川雅夫（大阪府立大学農学部）

多くのマメ科植物では根粒菌の感染は根毛のカーリングにより開始される。ラッカセイ (*Arachis hypogaea* L.) では他の植物に見られるような根毛の発生はなく、側根の発生箇所にはロゼット状の比較的長い根毛のみが形成されると言われているが、これらの根毛の根粒菌感染における機能は明らかにされていない。演者らは、ラッカセイにおける根粒形成機構を明らかにすることを目的に研究を進めているが、現在まで根毛発生頻度の種、品種間差異について若干の知見を得るとともに、土壤細菌 *Agrobacterium rhizogenes* の感染によって誘導した毛状根において多数の根毛を形成する系統を得たので報告する。

供試した栽培種（千葉半立、ナカテユタカ、ダイチ、ジャワ13号、Florunner）および野生種 (*A. monticola*) の10日齢実生は、何れも側根発生部位に2~4mmのロゼット状の根毛を発生したが、その頻度は *A. monticola* においてやや高かった。側根が発生する際に主根には比較的大きな裂け目が生じた。 *A. rhizogenes* の野生菌株 (A13) を実生の本葉に接種したところ高頻度に不定根が発生した。オバインとPCRによるDNAの検出によってこれらが形質転換された毛状根であることが確認された。毛状根の生長には種、品種間ならびに同一品種でも誘導した系統間で差異が認められた。毛状根は盛んに分枝を繰り返したが、分枝根発生箇所にはロゼット状根毛は発生しなかった。ナカテユタカにおいて多数の根毛によって覆われた毛状根が確認され、この系統は植物ホルモン無添加の培地上で根毛を発生しながら旺盛に生長した。実生の側根をIBA 1mg/l 添加した条件下で培養したが根毛は発生しなかった。現在、ロゼット状根毛、主根の裂け目、毛状根の根毛における根粒菌の付着について検討しているところである。

92年3月18日に播種したトマトを育苗期間中に第4節直上で摘心し、その後発達した側枝2本を鉢受けして発根させ、元の根を地際部から除去し、他の1本を地上部として発達させた。中央を板で仕切った高さ50cmの南北高うねの東側と西側に、この作物体の双方の根系を分けて6月28日に定植した。地温は東側と西側の高さ25cm、うね面から4cm内側で測定した。吸水速度は東側と西側の各地際部に茎流センサーを設置して9月22日に日変化を測定した。この日の日平均気温は17.2℃で、トマトの生育適温より著しく低かった。

東側と西側それぞれの日総吸水量に対する、時間当りの吸水割合の日変化を求めた。東側の根の吸水割合は、8時以降上昇して11時に最大となり、13時にかけて若干低下した後14時30分まで再度上昇し、そのあと低下した。一方、西側の根の吸水割合は、16時まで緩やかに上昇し、その後、急激に低下した。東側の11時の吸水ピークは日射量の上昇により、14時30分のピークは地温上昇に遅れて現われたとみられる。また、西側の16時のピークは地温上昇に遅れて増加していた吸水が、日射量の減少で増加しきれずに急激に低下してできたとみられる。

このように、Split Root法と茎流センサーを利用することにより、低温期の東西高うねでは、作物の吸水にとって東側が有利な環境にあることが明らかになった。このことから、寒冷地の夏作物の初期生育を促進するうえで、東側の環境管理が重要といえる。

## 12

### イネ種子根の内部形態の品種間差異 上桒喜八 (東京農大 生物産業)

イネ種子根の伸長量は生態型間で差異があり、buluにはらせん生長を示す品種が多く含まれることが分かっている(上桒・佐藤 1993)。種子根伸長量の品種間差異をもたらす要因を明確にするために、種子根の内部形態について調査した。

インドの生態型 aus, aman, boro、インドネシアの生態型 bulu, Ljereh および日本水稲より29品種を供試した。種子は28℃の暗条件下で水耕し、種子根の長さが6cmに達した時にクラフトタイプの固定液で固定した。パラフィン切片法で7μmの横断切片を作成し、トルイジンブルーOで染色した。根端より3cmの部位について根の太さ、中心柱の太さ、中央部の後成導管の太さおよび後成導管の数の調査をおこない、根の伸長量との相関について調べた。種子根の太さ、中心柱の太さおよび中央部の後生導管の太さの間には有意な正の相関が認められた。種子根の伸長量はこれらの形質とは負の相関を示し、後生導管の太さとの相関は1%水準で有意であった。また、種子重は種子根、中心柱および後生導管の肥大と有意な正の相関を示し、種子根の伸長との間には負の相関を示すことが分かった。

#### < 引用文献 >

上桒・佐藤 (1993) 育種学雑誌43 (別1) :214

### 13 イネ短根突然変異体の選抜とその特性

一井眞比古・石川道夫（香川大農）

イネ品種オオチカラのM<sub>2</sub>幼植物集団（約11000個体）から短根の変異体を2個体選抜した。これらの変異体は自殖後のM<sub>3</sub>世代でもM<sub>2</sub>世代と同様の形態を示し、また変異体の分離も認められなかったため、それらを短根突然変異系統RM1及びRM2とした。以下はそれらの特性である。

発芽後6日目におけるRM1及びRM2の種子根長は3cmであったが、野生型（オオチカラ）のそれは1.2cmであった。また両突然変異系統の冠根長は野生型の約1/2であり、両突然変異系統の根伸長は野生型より大いに抑制されていた。しかしながら両突然変異系統の草丈や冠根数は野生型とほぼ同じであった。一方、根毛数や根の皮層細胞長では両突然変異系統と野生型との間に有意な差は認められなかったが、根先端部の分裂帯長では両突然変異系統は野生型より有意に短かった。根の生理的機能のひとつであるアンモニアや硝酸の吸収能力（個体当たり）では、両突然変異系統は野生型とほぼ同じであった。両突然変異系統は根の特性の幾つかについて野生型と異なったが、2つの突然変異系統間、即ちRM1とRM2との間では差が殆ど認められなかった。RM1及びRM2と野生型とのF<sub>1</sub>植物における冠根長はいずれも野生型と同じであり、またF<sub>2</sub>植物における冠根長は野生型と短根型に分離し、その比はいずれも3:1に適合した。

以上の結果から、RM1及びRM2の短根特性は細胞の短小化によるのではなく、細胞数の減少とりわけ細胞増殖能力の低下によることが示唆される。また両系統はいずれも単因子劣性の突然変異によって生じたものと推察される。



## 薬用植物の根

(株) ツムラ 生物・化学研究所

寺林 進

漢方処方構成するいわゆる生薬には、実に多くの種類の植物の根が用いられている。根を薬用にする場合、①根全体を用いるもの：人参 (*Panax ginseng*)、当帰 (*Angelica acutiloba*)、甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*)、黄耆 (*Astragalus mongholicus*)、威靈仙 (*Clematis chinensis*)、龍胆 (*Gentiana scabra*)、細辛 (*Asiasarum sieboldii*)、②子根を用いるもの：附子 (*Aconitum carmichaeli*)、③根皮を用いるもの：桑白皮 (*Morus alba*)、牡丹皮 (*Paeonia suffruticosa*)、④根の肥大部のみを用いるもの：麥門冬 (*Ophiopogon japonicus*) 等がある。

天産物である植物の根とはいえ、薬物であるから、その品質が問題になる。生薬の品質は五感によるにおい、色、味の面、形態面、成分面、薬理面と多方面から評価が下される。品質を問題にするうえで、各生薬の基原種は何かということも無視できない重要な点である。生薬では、同一の名前でも複数の植物を基原種としているものが多い。「日本薬局方」や「日本薬局方外生薬規格集」では、それぞれの生薬に基原種を規定している。我々はこれら公定書に則った基原の正しいものを使用しなければならない。

ここでは、生薬「威靈仙」を例に、生薬の基原種の鑑別について話題提供を行なう。

威靈仙は、「集驗方」に初めて収載された生薬で、去風湿薬として用いられ、神経痛、リウマチ、筋肉痛等の鎮痛に効果があるとされる。漢方処方としては、二朮湯、疎経活血湯等に配合されている。成分的にはサポニン、フェノール、糖類等が報告されている。「日本薬局方外生薬規格集」では、キンボウゲ科の *Clematis chinensis* 及びその他近縁種が基原種として規定されている。威靈仙については、近年、本草学的考察、基原解明研究が集中的に行なわれ、基原種についてもかなり分かってきている (御影と難波、1983a, b, c, d, e, f, g; 李家実ら、1980)。

現在、威靈仙は主として中国や韓国から輸入されている。それらの種の同定を目的に中国産4検体と韓国産5検体について外観、内部形態を観察した。その結果と、基原が既に判明している材料 (*C. chinensis*, *C. mandshurica*, *C. hexapetala*) に基づくデータ及び文献に記載されているデータと比較し、基原種の同定を試みた。

市場品「威靈仙」は、いずれも短い根茎に多数の細長い根を付けており、外面は褐色～暗褐色で、横断面は灰褐色～淡褐色、中心柱は淡灰黄色～黄色を呈している。羽いにおいがあり、味はほとんどない。これら市場品は、外観的には根の太さ、根の波打ちの程度等、また内部形態的には、皮層厚壁細胞の有無、表皮細胞外側の膜壁の厚さ、表皮細胞、外皮細胞、皮層柔細胞及び道管の径、師部繊維の量等によって4つの型に類別できた。

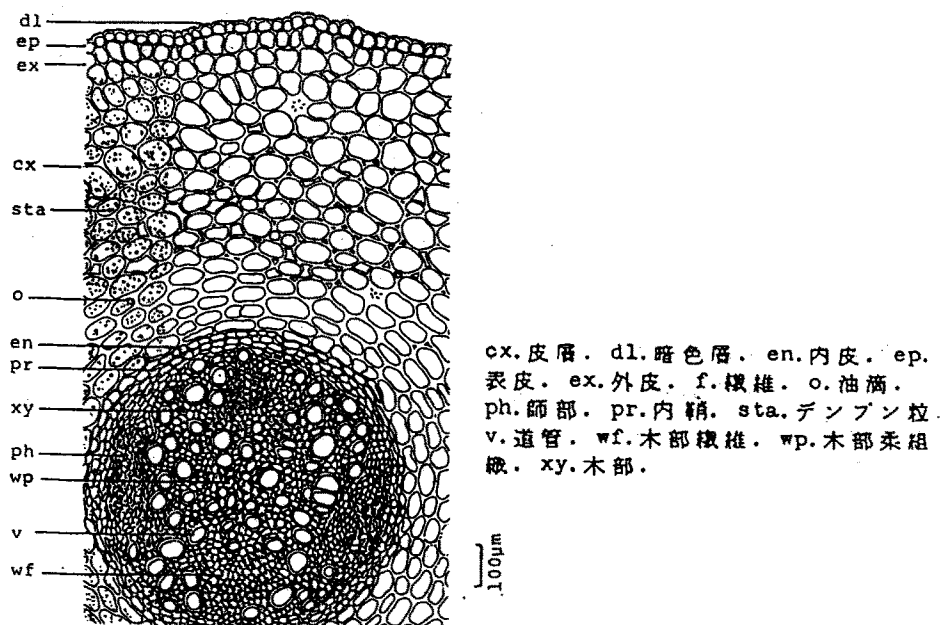
タイプ1は表皮細胞の外側の膜壁の厚さ、師部繊維の量に若干違いが認められたが、他の多くの点で *C. mandshurica* に類似した特徴を示し測定値としても近い値を示した。

タイプ2は、タイプ1に比し根全体がやや大きく、表皮細胞の外側にある暗色層が連続的で、表皮細胞の外側の膜壁が厚く、道管の径が大きい。今回の比較材料に一致するものはなかったが、御影らの報告(1983e)で記載されている、*C. terniflora* var. *koreana* に比較的類似していた。ただし、道管の径や表皮細胞の径等に若干の相違がみられた。

タイプ3は、タイプ1に比し大きく、根の波打ちの程度が小さく、表皮細胞の外側にある暗色層が連続的で、表皮細胞と外皮細胞の径が小さい。今回の比較材料に一致するものはなかったが、御影らの報告(1983e)で記載されている、*C. brachyura* に類似した。ただし、表皮細胞の径に若干の差異があった。

タイプ4は皮層に厚壁細胞が出現するのが特徴的で、また師部繊維の量が多かった。比較材料に一致するものはなかったが、皮層に厚壁細胞があり、師部が4つあるということで、李家実らの報告(1980)でいう、*C. finetiana*に相当すると思われる。ただし、表皮細胞の径、皮層柔細胞の径、道管の径については数値的に必ずしも一致しなかった。

4つのタイプのおおよその種の推定はできたが、明瞭な答を得るためには、基原の判明した材料のに基づく基礎データの蓄積が必要である。



1. 台木の世界：果樹の根、それは台木の世界である。台木を使用する理由の第一は、品質優良な接穂品種を台木に接木することにより、遺伝的に均一な苗木を多量に生産することにある。果樹栽培の目的は、接穂と台木の共生関係に基づいて、良果多収をはかることにあるが、台木も遺伝的に均一であることが望ましい。例えば、温州ミカンにはカラ、タチの珠心胚実生が、リンゴには挿木やとり木によって増やしたM9などのわい性台木が使用されている。果樹の台木に望まれる形質としては、樹高調節（わい化）、耐寒性、耐病性（ウイルス抵抗性を含む）、耐虫性（ネマトーダ抵抗性を含む）、耐乾性、耐湿性、耐塩性などがあげられる。

2. 土壌環境：接穂品種との接木親和性があることが必須の条件であるが、複雑な土壌環境によく適合し、高い生産性を示す台木品種でなければならない。その場合、地温、土壌通気、土壌深度、土壌pH、地形などが問題となるが、永年性作物に特有の問題も存在する。例えばいや地がそれであり、モモの後地にモモを植えても樹体の生長は著しく劣り、経済栽培は成り立たない。もつとも、排水の良い傾斜地は別で、甲府盆地の扇状地はモモの大産地となっている。

3. 根の生理：果樹も、他の作物と同様に、大地に根を張って個体を支え、永年性作物として毎年生長と発育を繰り返している。栄養生殖両生長の調節に根系はきわめて重要な役割を果たしているが、根が十分に養水分を吸い上げ、地上部に健全な枝葉が形成されていなければ、物質生産は望むべくもない。温州ミカンに関する最近のデータをみると、台木の種類によって葉の気孔の分布密度やRuBPcaseの活性に違いが生じ、光合成に少なからぬ影響を及ぼすことが報告されている。又、細根の量や吸水量も光合成に大きな影響を与えることが知られているが、温州ミカンの葉の水ポテンシャルと光合成速度の関係を調べた結果をみると、 $-15$  bar 以下では葉の光合成速度が急激に低下した。細根の量と光合成の関係については、吸水の問題に加えて、細根がサイトカイニンの生成の場であることも考慮に入れておかなければならない。

根系は同化産物の分配にも密接に係わっている。わい台に接いだリンゴでは、地下部への転流は小、地上部への分配は大となつて、生殖生長にプラスに作用することが知られている。又、土壌乾燥や地温の低下は、光合成そのものの低下も引き起こすが、シンクとしての根の機能も低下させ、同化産物の分配に影響を及ぼす。さらに、着果負担の過ぎた木では、地下部への転流が小となり、細根の生長が抑えられて隔年結果を生じやすい。

細根については、その量と活力が問題となることが多い。呼吸量やTTCの測定によると、わい台では呼吸による基質の消耗が大で、わい化の一因をなすとも考えられている。又、わい台においては、サイトカイニンの生成が大で、地上部の生殖生長にプラスに働くと考えられている。根ではABAも生成されるが、水分ストレス下ではその生成は著しく増加し、カンキツ類では花芽分化にプラスに作用することが知られている。一般に、根の生理勾配は急で、含有ホルモンの濃度も低い。つる性のブドウでは、いつ泌液中に含まれるホルモンの種類と量について若干のデー

タが蓄積されているが、他の果樹の根中に含まれるホルモンの種類、量、局在性等についてはよくわかっていない。なお、台木に実生を用いるか、それとも挿木苗を用いるかで、根系にかなりの違いが生ずる。果樹の種類によっても違うが、前者は土中深く侵入するいわゆる直根を持ち、後者は表層近くの浅い土中に多くの細根を有している。根の種類と呼名については曖昧と言わざるをえないが、ミカンでは比較的細い根をパイオニアルト、細根、ひげ根と区別する著述もある。

4. 根の機能制御：施肥、灌水、中耕、除草、マルチなど果樹園で慣行的に行われてきた作業は、いずれも根の生育制御に係わる伝統的な管理技術であると言える。昨今のように、何はさておいても、高品質果の生産が第一義的な課題となると、これまで以上に根の生長を積極的にしかも計画的に制御する必要が生じてきた。根域制限が注目されている理由はここにあり、ベンチ、うね立て、ボックス、不織布ポットなどを用いた栽培が、研究の成果を待たずに実際栽培に採り入れられつつある。すなわち、根域を制限すれば、土壌深部への直根の侵入を抑えて低樹高とし、作業の省力化をはかることが可能になる。肥培管理はもちろんのこと、水管理も簡単であり、適期に積極的に水ストレスを与えて、物質代謝を合成型から分解型に変えることも可能となる。すなわち、水分ストレス下では、デンプンや多糖が分解されて多量の単糖が生じ、これが果実に運ばれて着色促進や甘味の増強にプラスに働くことになる。

次に、根の機能制御の面で注目されているのは、土壌微生物である。堆厩肥の搬入は有機物の施用という意味ももちろんあるが、有効菌類の投与という意味も大で、畑作では土中への局所施用の効果について検討がなされている。果樹で最近話題になっているのはVA菌根菌で、台木の根と共生させることにより、樹体の生長にプラスの効果を上げようというものである。VA菌根菌の共生した温州ミカンでは、養分吸収（リン酸など）や夏場の水分吸収はプラスの効果が生じ、品質の良い果実が収穫できたという。わが国では、VA菌根菌とクリの根の共生の事例から始まって、ようやく他の果樹でもその効果に関心が示されつつあるが、ヨーロッパではかなり以前から、フランスから土壌への順化の過程や苗木の生長促進といった幅広い分野での利用について研究が行われている。

この他、ハウスミカンでは、秋口に土中に埋めた塩ビ管に冷却水を流し、地温を下げて花芽分化の促進をはかる技術が実用化されており、ハウスブドウでは土中に埋めた電床線や地中熱交換システムによって地温を高め、萌芽の促進がはかられている。

私共も、現在、温州ミカンを材料として、根の機能制御と役割分担に関して次のような実験を試みている。

- A. 不織布を用いて、浅根のみ、深根のみ、浅根+深根、の3区を設け、栄養生殖両生長にどのような影響が見られるかについて検討。
- B. 根群を2ないし3群に分け、それぞれに役割分担させた場合のトータルの樹体生長について検討。
- C. 根へのホルモン水溶液の灌注による花芽分化促進。

果樹の研究は、永年生であることと図体が大きいこともあって容易ではないが、高品質果の多収をはかるためには、根についての研究が一層重要となってきた。

# イネ科作物の根

名古屋大学農学部 山内 章

## 【根系構成要素】

単子葉植物であるイネ科作物は、一般に”ひげ根状”と総称される根系を発達させる。しかし、その根系を詳しく見ると、いくつかの種類の根から構成されていることがわかる。それは、例えば種子根（軸）、節根（軸）、そしてそれらから発生する分枝次元の異なる側根などである。これらの根を著者らは根系構成要素と称している。これら根系構成要素間、あるいは、それぞれの構成要素の中では、外部形態、内部構造、齡、などが異なっているので、生理・機能面でも異質であると考えるのが妥当であるが、実験的証拠はほとんど挙がっていない。

## 【根系構造とその調査法】

ここで言う根系構造とは、上に述べた根系構成要素の、土壤空間中での配置のことである。したがって、この根系構造は、構成要素の数、長さ、および伸長方向によって規定される。このような視点から見ると、イネ科作物のひげ根状根系においては、主として節根が根系の枠組み（フレームワーク）を造り、その間の土壤空間に側根によるネットワークが形成されていると理解できる。そして、実質的な養水分吸収機能は、量的に根系の圧倒的な部分を占める側根が担い、節根は、側根を土壤中に配置し、吸収・生合成された物質を地上部に輸送する役割を担っていると考えることができよう。

これまで様々な根系調査法が考案されてきているが、著者らは主として根箱・ピンボード法を使用してきた。この方法は、根系の土壤中での展開が2次元に制限されるという制約はあるが、土壤中での根系構造をほぼ原型の近い形で、しかもほとんど無傷で採取できるという大きな利点がある。さらに、土壤環境条件の制御が比較的容易であり、根系発達における再現性にも優れていることを確かめている。

## 【イネ科作物の根系構造】

著者らは、この方法によって、その起源、栽培地域、生態型の異なるイネ科作物13種（夏作物は1カ月齢、冬作物は4カ月齢）の根系構造を比較・解析した。その結果、節根数が多く、その中の比較的多くが縦方向に伸長し、形成される根域は小さいが、その小さな根域に多数の短い側根がネットワークを形成する根系と、節根の中に土壤空間を斜走するものが比較的多く、大きい根域を形成し、数は少ないが長い側根がネットワークを形成する根系に大きく分けうることを見いだした。そして、前者の根系を、比較的小さい土壤空間に多くの根系構成要素が分布するという意味で”集中型根系”、それとは対照的に後者を”分散型根系”と呼ぶことを提唱した。

さらにこれとは別に、これらの作物を湛水、適湿、乾燥条件下で生育させ、乾物生産、子実生産、水利用効率を指標に、耐湿性・耐旱性の程度を比較検討した。その結果、集中型根系を有する作物は相対的に耐湿性に優れ、逆に分散型根系を有する作物は耐旱性が大きいという対応関係を認めた。

## 【根系構成要素間の差異】

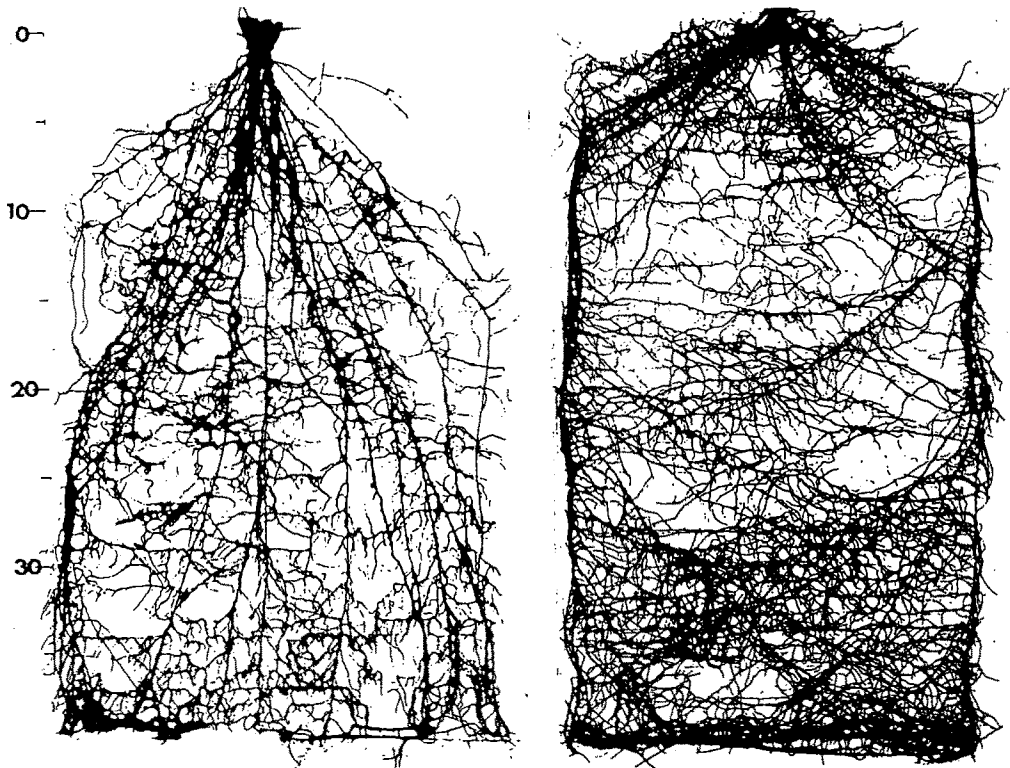
側根には、太く、長く、高次の側根を分枝するもの（L型）と、細く、短く、それ以上分枝しないもの（S型）とがある。両者は外部形態だけではなく、内部構造も異なり、S型側根では維管束系の退化傾向が認められ、その傾向は集中型根系でとくに顕著である。寿命も明確に異なり、生理機能面でも役割分担をしているものと考えられ、著者らはこれらを別の種類の根と考えている。

皮層の外層（下皮の内腔側）に、細胞壁の木化が顕著に認められる皮層内厚壁組織と呼ばれる組織が多くの根に発達する。この組織は、土壤環境ストレス・微生物の侵入に対する根の保護、吸水・保水・水通導に關与する重要な組織と考えられているが、従来余り関心が払われてこなかった。この組織の発達を根系の形成過程にそって調べてみたところ、イネでは種子根からその発達が認められたのに対し、他の夏作イネ科作物では、種子根、

中茎根では認められず、鞘葉節根から発達し始め、上位節から発生する根ほど、その発達が顕著であった。このことは、これらの根の間で機能的差異が存在することを強く示唆するものである。

さらに、様々な土壌環境ストレス（乾燥、過湿、機械的抵抗、高温、他感作用物質）に対する根系の反応を、構成要素のレベルで解析した結果、構成要素間で異なった反応を示すことを見いだした。全体的には、種子根系はストレスに対して感受性が高く、節根系の生長が、これらのストレス環境下での作物の生育に重要な役割を果たしていると考えられた。

これらのことより、根の研究を行なうにあたっては、根系構成要素によって形態や機能が異なっている点にじゅう分注意を払いつつ解析を進めることが重要であり、それらの知見の総合化によって、根系全体の形態や機能に関する理解が深まるものと考えられる。



イネ  
(陸稲農林11号)

トウモロコシ  
(ゴールデンクロスバンタム)

節根数 (本)	29	17
総根数 (本)	42423	11645
総根長 (m)	177.8	130.1
総根表面積 (m <sup>2</sup> )	0.058	0.122

イネ（左：集中型根系）とトウモロコシ（右：分散型根系）の根系。根箱・ピンボード法によって採取した、播種後30日の根系。左側のスケールの単位はcm。（Yamauchiら、1987. Jpn. J. Crop Sci. 56:608-617; Yamauchiら、1987. Jpn. J. Crop Sci. 56:618-631. より改変）。