

イネにおけるイオン吸収関連突然変異体について

長谷川 博

(滋賀県立大学環境科学部)

522-8533 彦根市八坂町、e-mail hasegawa@ses.usp.ac.jp

栄養イオンの吸収は根の表皮細胞の重要な機能のひとつである。イオン吸収の機能と遺伝子支配を解明するためには、イオン吸収あるいはそれに関係した形質の突然変異体を利用することができる。ここでは、これまでに得られたイネのイオン吸収関連突然変異体の概要を紹介する。

1. 低硝酸イオン吸収突然変異体

高等植物の硝酸イオントランスポーター遺伝子はすでにクローニングがなされているが、硝酸イオン吸収機構についてはなお不明な点が多い。硝酸イオン吸収機構を明らかにするためには、多くの吸収関連突然変異体を獲得する必要がある。イネにおいて、 γ 線あるいは NaN_3 处理後代の M2 集団から、幼植物期に硝酸イオン吸収を個体ごとにチェックする方法で、日本晴を親品種とする 2 個体 (NUE13, NUE36) と金南風を親品種とする 1 個体 (NUE50) の低硝酸イオン吸収突然変異体が得られた。突然変異体の後代系統を調査したところ、各系統とも硝酸イオン吸収は親品種の 30~70% であること、硝酸還元酵素活性は正常範囲内であること、カリウム吸収も低下していること、弱いセシウム抵抗性を示すことが認められた。一方、塩素酸抵抗性に関しては NUE50のみが弱い抵抗性を示した。

Tab. 1. Selection for rice mutants deficient in nitrate uptake from 250 μM nitrate solution. Details of the selection methods are described in Materials and methods.

Cultivar	Mutagen	Selection method	No. of seedlings		No. of N_2 plants producing M_3 seeds	No. of mutants
			Screened	Selected		
Nipponbare	γ -radiation	A	8 668	6	2	1 (NUE36)
Nipponbare	γ -radiation	B	4 235	7	6	0
Nipponbare	γ -radiation	C	5 950	24	20	1 (NUE13)
Nipponbare	sodium azide	A	3 115	5	4	0
Kinmaze	γ -radiation	A	13 046	32	13	1 (NUE50)
Total			35 014	74	45	3

Hasegawa 1996, Physiol. Plant. 96:199-204 より引用

2. セシウム抵抗性突然変異体

セシウムはカリウムのアナログとして挙動する細胞に有害な元素である。低硝酸イオン吸収突然変異体が弱いセシウム抵抗性を示したように、セシウム抵抗性突然変異体はイオン吸収機構の解明に有力な材料であると考えられる。イネの幼植物は 20 μM 以上のセシウム水溶液中で生育困難なことから、20 μM 塩化セシウム溶液で生育可能な M2 個体（親品種は日本晴、 γ 線照射後代）を選ぶという方法により、6 個体のセシウム抵抗性突然変異体が獲得されている。現在までに、そのうち 1 系統 CSR9 について予備的な特性調査がなされており、CSP9 は低濃度区のセシウム吸収が低いこと、カリウムと硝酸イオンの吸収が低下していることが認められ、セシウム抵抗性変異はイオン吸収と関連深いことが確認された。また、簡易ディファレンシャルディスプレイ法により、CSR9 の根に特異的に発現する遺伝子の存在が示唆されている。

Table 1 Ion uptake ability of CSR9 and the wild type cultivar, Nipponbare.

Each ion measurement was replicated 5 times ($\text{m} \pm \text{s.d.}$)

Ion	Uptake ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{fw} \cdot \text{h}^{-1}$)	
	CSR9	Nipponbare
Cs^+ 1)	0.269 \pm 0.027 (65.1*)	0.413 \pm 0.039
Cs^+ 2)	2.161 \pm 0.426 (122.3)	1.767 \pm 0.446
K^+ 3)	1.827 \pm 0.157 (74.3)	2.460 \pm 0.365
NO_3^- 2)	0.823 \pm 0.139 (65.4)	1.258 \pm 0.090
NO_3^- 3)	1.405 \pm 0.161 (70.6)	1.991 \pm 0.095

* Percent of that of Nipponbare

1) uptake from 20 μM $\text{CsCl} + 400 \mu\text{M}$ CaSO_4 2) uptake from 250 μM $\text{CsNO}_3 + 400 \mu\text{M}$ CaSO_4 3) uptake from 250 μM $\text{KNO}_3 + 400 \mu\text{M}$ CaSO_4 Hasegawa & Okumoto 1999, Plant Nutrition - Molecular Biology and Genetics, Kluwer, 333-339
より引用

根毛量に関するイネ突然変異体の特性解析（予報）

一井眞比古・河村裕行・武田真

(香川大学農学部, 〒761-0795 香川県三木町)

イネ品種オオチカラの M_2 幼植物集団から根毛量に関する変異体を選抜した。それらの個体のうち、 M_3 世代でも M_2 世代と同様な特性を示し、かつ形質の分離も認められなかった突然変異系統 RH1 及び RH2 の特性について報告する。

突然変異系統 RH1 及び RH2 並びにそれらの野生型オオチカラの幼植物の根毛を比較したところ、RH1 の根毛数はオオチカラより顕著に少なく、RH2 には根毛が認められなかった。そこで、RH1 を少根毛突然変異系統、RH2 を無根毛突然変異系統とした。オオチカラ、RH1 及び RH2 をワグナーポット (1/5000a) で水耕栽培し、それらの生育特性を調べた。オオチカラ、RH1 及び RH2 の出穂日はそれぞれ 8 月 24 日、9 月 3 日及び 8 月 25 日であった。オオチカラの出穂日における根長、根数、根重及び茎葉重はオオチカラ > RH2 > RH1 であったが、分けつ数はオオチカラ < RH2 < RH1 であり、草丈は系統間による差を認めなかった(表 1)。水耕液を 1 週間に 1 回交換したが、水耕液交換後のポットの重さを測り、それらの結果から蒸散量を推定した。蒸散量 (g/個体/日) は天候に大きく影響されたが、系統間の差はほとんど認められなかった(表 2)。今後は、乾燥抵抗性や根組織などについて系統間の差を観察し、根毛の形成過程や役割を明らかにしたいと考えている。

表1. 根毛に関する突然変異系統RH1及びRH2
並びにそれらの野生型オオチカラの生育特性
(8月24日)

	オオチカラ	RH1	RH2
最大根長(cm)	47.6	43.1	45.0
根数(本)	486.0	437.0	457.2
根重(g)	55.4	36.6	39.7
桿基重(g)	42.4	38.4	40.1
草丈(cm)	87.2	85.8	87.5
分けつ数	26.2	35.4	29.8
茎葉重(g)	181.3	148.5	168.1

出穂日: オオチカラ=8月24日, RH1=9月3日, RH2=8月25日。

表2. 根毛に関する突然変異系統RH1, RH2及びそれらの野生型オオチカラの蒸散量(g/個体/日)
(8月下旬)

系統	水耕液交換後日数				
	1 (8/24)	2 (8/25)	3* (8/26)	4 (8/27)	5 (8/28)
オオチカラ	580	620	790	190	440
RH1	550	590	760	180	410
RH2	570	610	760	180	410

*: 水耕液補充。出穂期: オオチカラ=8月24日, RH1=9月3日, RH2=8月25日。

オーキシンとイネの根の形態形成 -GASR1遺伝子・タンパク質の解析-

池田 亮・蓬原雄三*・山口淳二 (名大・生物分子応答研究センター, *名城大農)

E-mail :jyama@agr.nagoya-u.ac.jp (山口淳二)

最近シロイヌナズナの分子遺伝学的研究において、根は構造が比較的単純であること、分化した細胞の種類が少ないと等の理由から、植物の器官分化のモデル系としても注目され始めている。また植物ホルモンは形態形成などにおいて重要なシグナル物質であるが、根の突然変異体を用いて細胞分化の決定と植物ホルモンとの関係が少しずつ明らかになってきている。植物ホルモンの 1 種類、オーキシンは根の形態形成に中心的な役割を果たしているが、その輸送体遺伝子のクローニングを中心に画期的な進歩がなされてきている。本研究では、イネの根の形態形成の制御機構とオーキシンの役割を解明する目的から、*GAST1* 遺伝子ファミリーに属すると思われるイネの *GASR1* 遺伝子・タンパク質に着目した研究について報告したい。

GAST1 (gibberellin (GA)-stimulated transcript 1) は当初ジベレリン欠損型である矮性トマトより単離され、この転写産物量はシートにおいてジベレリンを添加した際、20倍に増加することが明らかになっている。さらに *GAST1* 遺伝子のアミノ酸配列と高い相同意を持つものに、同じくトマトの *RSI-1*、シロイヌナズナでは *GASA1* ~5 遺伝子群などが報告されている。これらの相同 cDNA に共通して見られる特徴には、1) 100 前後のアミノ酸残基よりなり、2) シグナルペプチドと推定される領域が存在しており、3) C 末端側にシステイン含量が高く 12 残基が完全に保存されている、等が報告されているがその生理機構の解明には至っていない。

§ 1 *GASR1* 遺伝子の塩基配列を決定し、アミノ酸配列を推測した。その結果、*GASR1* の ORF は 279 bp で、93 個のアミノ酸をコードしていた。*GASR1* より推定されるアミノ酸配列はシグナルペプチド配列をもち、C 末端側で他の *GAST1* 遺伝子群と比較して相同意が高く、12 個のシステイン残基を完全に保存されていた。

§ 2 *GASR1* タンパク質を大腸菌内で発現させ、得られた発現タンパク質を抗原として、ウサギに免疫を行い、*GASR1* タンパク質の抗体を作製し免疫化学的な解析を試みた。*GASR1* タンパク質の組織局在性を調査し、また様々な植物ホルモンによる発現の影響を検討したところ、*GASR1* タンパク質は根においてのみ特異的に発現し、その分子量は SDS-PAGE 上で約 13 kDa のバンドとして検出された (Fig. 1 A)。さらに *GASR1* タンパク質はオーキシンにより誘導が制御され、SDS-PAGE 上で高分子側 (約 40 kDa) にシフトすることが明らかとなった。

§ 3 オーキシンと同時に *GASR1* タンパク質の抗体を根に添加すると、オーキシン処理でみられた *GASR1* タンパク質の高分子側へのシフトが抑制された (Fig. 1 A)。通常イネの根は、高濃度のオーキシンにさらされると生育の阻害が見られ、側根の発生などが抑制される。しかし、オーキシンと同時に *GASR1* タンパク質の抗体を添加すると、オーキシンによる根の生育阻害の解除が認められた (Fig. 1 B)。これらの結果から *GASR1* が根におけるオーキシンの作用とそれを媒介する形態形成に関係している可能性が示唆された。また、*GASR1* 抗体の添加が根の伸長および発根に影響を及ぼしたことから、抗体のようなある種のタンパク質が生長調節物質として作用する可能性を示してもいる。このような抗体の添加による植物の生長制御の例は殆ど報告されていないことは興味深いものと思われた。

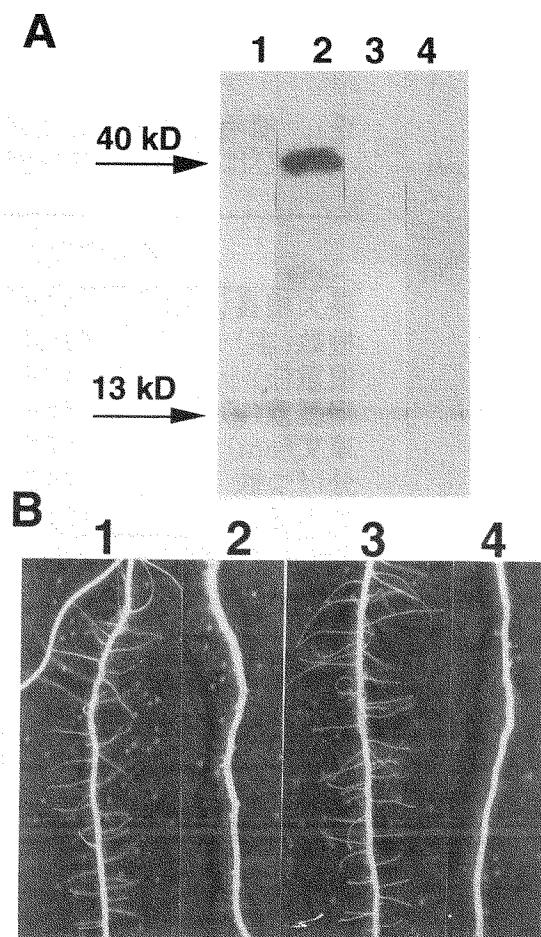


Fig. 1 A: Immunoblot of root protein by *GASR1* antibody, B: Effect of root morphogenesis by *GASR1* antibody. 1: water, 2: + NAA, 3: + NAA + *GASR1* antibody 4: + NAA + non-immune serum

溶存酸素センサを用いた根の酸素吸収速度の計測

吉田 敏 (九州大学 生物環境調節センター)

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1; e-mail: yochi@agr.kyushu-u.ac.jp

植物の根の生理的活性の指標のひとつとして重要視されている根の呼吸活性については既に様々な評価方法が確立されている。特に、ワールブルグ検圧計の利用に代表されるような簡便な方法が注目され、実際の試験・研究によく用いられている。ところで、水産業や生活環境調査の場面における河川・湖沼の溶存酸素濃度およびバイオテクノロジー場面における培養器の溶存酸素濃度を計測するために、電気化学的原理に基づく溶存酸素 (DO = dissolved oxygen) センサが開発されて改良が加えられている。この種のDOセンサは比較的小型・軽量で、被験液の化学的影響を受け難く応用範囲が広い。なかでもポーラログラフ式と呼ばれるDOセンサは、保守・校正などの取り扱いが簡便で長時間にわたる連続計測が可能であるとされている。ここでは、このDOセンサを用いて水耕における培養液の溶存酸素濃度を計測することにより、植物の根の呼吸活性を評価する方法について紹介する。

ポーラログラフ式DOセンサは、酸素ガス透過性隔膜、電極（白金および銀）、電解液 (KCl) および温度センサで構成されている。隔膜は撥水性テフロン樹脂の多孔質膜で、その孔隙に空気が保持されることにより隔膜外の被験液と隔膜内の電解液が接していない。したがって、孔隙を通して酸素ガス分子は拡散により隔膜を透過するが、水および電解質は透過しない。センサ内部の電解液に拡散した酸素分子が一定の電圧を与えられた電極表面において電解されるとき、被験液の酸素分圧に比例した電解電流が発生する。したがって本センサではこの電流を検出して温度センサからの出力信号で補正を加え、被験液の溶存酸素濃度を算出している。ただし、DOセンサ自身がわずかに酸素を消費するので、検出部周囲の被験液を十分に攪拌し続けなければ隔膜近傍の溶存酸素濃度が低下して被験液全体の溶存酸素濃度を過小評価することになる。

本センサを用いて実際に根の呼吸活性を評価する方法を検討した。まず、十分にエアレーションを行った被験液（培養液）を容積1 Lのステンレスポットに満たした。このポットの開口部からキュウリ幼植物個体の根系を挿入して茎の基部をゴム栓で固定し、シリコングリースやワセリンのペーストを塗布して被験液と外気とのガス交換を遮断した。DOセンサもゴム栓で固定し、マグネットスターで培養液を緩やかに攪拌し続けた。このポットをウォータバスに入れて液温を一定に保つとともにシステム全体をグロースチャンバ内に導入して地上部の環境条件を制御した。本システムにおいて乾物重で0.1~0.2 gほどの大きさの根系を用いた場合、液温25°Cにおいて数時間でポット内の溶存酸素は消費し尽くされた。経時的にみると、いわゆる限界酸素分圧までは溶存酸素濃度が直線的に低下し、その後は徐々に緩やかに低下した。そこで、濃度が直線的に低下している時間帯における単位時間あたりの溶存酸素低下量を算出し、(個体あたり) 根系の酸素吸収速度とした。

本センサは空気中の酸素ガス濃度を計測することも可能であるが、検出部に結露が生じると計測できない。また、仮に上記ポットに空気を満たすとポット内には常温・1気圧で8 mmol以上の酸素分子が存在しており、乾物0.1~0.2 gの根系の酸素吸収（速度：0.05 mmol h⁻¹以下）によるわずかな変動を酸素分圧として本センサで捉えることは難しい。これに対して空気飽和状態の被験液をポットに満たすと、同じ酸素分圧 (20.9 % v/v) でも溶存酸素分子はポット内に0.2 mmolほどしか含まれないので根の呼吸による酸素分圧変動を十分な精度で検出することができる。

本方法のように地上部を付けたまま根の部分だけを封入すると、ポット内の被験液および根系は茎を通して外部と連絡しており、厳密には閉じた系とはいえない。しかし、ここで得られた根系の溶存酸素の吸収速度は「whole plant」において根の呼吸が根の周囲の酸素にどれだけ依存しているかを調べる指標として有用な生体情報であると考えられる。もちろん本装置において単離した根系をポットに入れて栓をした場合には、ポットはほぼ密閉状態であってより正確な根の酸素消費量を得ることができるであろう。

FACE 条件下における登熟期の水稻の出液速度の推移

森田茂紀^{1*}・阿部淳¹・小林和彦²・金漢龍^{3,4}・
岡田益己³・中村浩史^{3,4}・Mark Lieffering^{3,4}

(¹東京大学・²農業環境技術研究所・³東北農業試験場・科学技術振興事業団)

*anatomy@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

地球の二酸化炭素濃度は年々上昇を続けており、21世紀の半ばまでに現在より約200ppm高くなると予測されている。二酸化炭素濃度の上昇は地球温暖化の原因となる可能性が大きく、作物の生育や収量にどのような影響を及ぼすを明らかにすることは急務である。そのため、作物の生育に対する高二酸化炭素濃度の影響を検討する研究が閉鎖系で盛んに行なわれているが、生態系レベルでどのような変化が起ころかは必ずしも明らかでない。そのため、世界の数ヶ所で作物個体群の生育や収量に及ぼす高二酸化炭素濃度の影響が開放系で研究されており、FACE (Free Air Carbon dioxide Enrichment)と呼ばれている。しかし、これらはすべて畠作物を対象としたものであり、湛水条件で栽培されるイネを対象としたものはなかった。そこで、1998年から日本では農業環境技術研究所、東北農業試験場、科学技術振興事業団等の共同プロジェクトとしてRICE FACE PROJECTが始まった。著者らは1998年のデータを踏まえて (Kobayashi et al., 1999)、1999年は登熟期における根系調査を行なった。

実験サイトは岩手県岩手郡東石町にあり、農家水田にFACE区(幅約12mの8角形、約80m²)およびAmbient区がそれぞれ4区設けられている。5月20日にAmbient区用および[Ambient区+200ppm]で栽培したFACE区用の水稻品種アキタコマチの苗を、条間30cm・株間17.5cm、1株3個体で移植した。その後、FACE区では[Ambient区+200ppm]としたほかは、Ambient区とともに慣行にしたがって栽培した。

8月17日(登熟初期)と9月2日(登熟中期)の午前中に、FACE区およびAmbient区において出液速度の測定を行なった(森田・阿部, 1999b)。両日とも、両区それぞれ6株×4区=24株について測定した。登熟初期においては両区で出液速度に差は認められなかつた。登熟中期になると、両区とも出液速度は登熟初期に比較して低下した。登熟中期における出液速度はAmbient区よりFACE区で高く、登熟初期からの低下が緩やかであったが、両区の差は統計的に有意でなかつた。別の農家水田において出穂期に穂を除去したところ、その後の出液速度の低下は対象区に比較して緩やかであったこと(森田・阿部, 1999a)を考え合わせる、登熟期のFACE区における光合成量や根系への分配が Ambient区に比べて高く、出液速度の低下が緩やかであった可能性がある。このことは、FACE区における登熟期の根系活力が Ambient区に比較して相対的に高く維持された可能性を示唆している。なお、登熟初期においては、株を中心に直径15cm・深さ20cmに分布するその株の根系を採取しており、現在、形態学的な解析を行なっている。

- (1)Kobayashi, K., M. Okada and H-Y. Kim (1999) In Horie, T. et al. eds. World Food Security and Crop Production Technologies for Tomorrow. 213-215.
- (2)森田茂紀・阿部淳 (1999a) 日本作物学会紀事 68(別2):168-169.
- (3)森田茂紀・阿部淳 (1999b) 根の研究 8(4)(印刷中).

有機養液土耕法の開発～未熟有機液肥の灌水同時施用によるトマト生産～

中野明正¹⁾・上原洋一¹⁾・山内章²⁾ (1:野菜・茶試, 2:名古屋大大学院生命農学研究科)

(連絡先: 〒470-2351 愛知県知多郡武豊町字南中根 45, TEL: 0569-72-1647

FAX: 0569-73-4744, E-mail: anakano@nivot-pc.affrc.go.jp)

[はじめに]

トウモロコシを原料とする製糖行程から生じる副産物であるコーンステープリカー (Corn Staple Liquor : CSL) は、現在、微生物培養用の基質やトウモロコシの殻に付着させて家畜飼料として用いられている。大量に生産される副産物であるがゆえに環境保全的な側面から、新たな処理および用途が求められている。すでに CSL がトマトの初期生育に与える影響を明らかにし、濃度を調製し少量ずつ添加することによって、土壤還元が可能であることが示唆された。実際の圃場で CSL を少量ずつ土壤還元するために、養液土耕法（灌水同時施肥法）で用いられる、液肥混入機、灌水・液肥コントローラー、ドリップ灌水チューブを用い、有機養液土耕法としてのシステム化を検討した。本実験では、実際の栽培条件に近い形で実証試験を試み、合わせて、それぞれの栽培における根系形態の特徴についても解析を行った。

[材料と方法]

横 6m、縦 12m、軒高 3m のビニールハウス（南北畝）内に、ポリエチレン製の舟形のドレンベッド（幅 0.9m × 長さ 9.4m、深さ 20–30cm）を 3 基設置し、それぞれ 61 本トマトを定植した。施肥条件としては、以下の 3 処理区を設けた。

(1) 基肥施用区：基肥として 1 個体当たり窒素 7.5 g を与え、その後 1.5 g の追肥を 2 度行った。(2) 無機養液土耕区：基肥無しで栽培を開始し、1 日 1 個体当たり 150 mg 程度の窒素を灌水と同時に施肥した。肥料は OK-F1 (大塚化学) を用いた。(3) 有機養液土耕区：CSL はカルシウム成分が乏しいため、予めセルカ（カキ殻石灰肥料）を土壤に混和した。その他液肥として CSL を用いる以外は、無機養液土耕区と同様の栽培を行った。それぞれの処理区から 15 個体を抽出し、果実収量、ビタミン C 含量、糖度の調査を第 4 果房まで行った。栽培後の根系をモノリス法で採取し、水洗後、画像解析し太さ別の根長を測定した。

[結果と考察]

生育は、有機養液土耕区が他の 2 区に比べ若干遅れる傾向があり、第 1 果房の収量は、有機養液土耕区で低かった。しかし、第 4 果房の収量は有機区で多くなり、栽培期間を通しての収量としてはそれぞれの処理区間で差は認められなかった。根系形態の特徴としては、有機養液土耕区で根が太くなる傾向が認められた。

近年、環境保全および高品質化を目指し施設生産を中心に導入が検討されている灌水同時施肥のシステムを応用すれば、未熟の有機物の土壤還元が可能となると考えられる。

塩分ストレスによるイネ根系の形態変化

内藤 整 (倉敷芸術科学大学教養学部)

E-mail : naito@las.kusa.ac.jp

塩分ストレス条件下で生育を高く維持するためには、地上部へのナトリウムの移行を抑制することが重要であり、根におけるナトリウム排除機能の重要性が指摘されている。しかし、どのような根の形質がより高い排除機能に結びついているか不明なばかりか、塩分ストレスが根にどのような影響を与えるかについてさえ明確となっていない。そこで本研究では、耐塩性程度の異なるイネ 2 品種を供試し、塩分ストレス下における根の分化・伸長について調査し、塩分ストレスがイネの根系形態に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

実験には耐塩性品種 IR4595-4-1-13 (IR4595) と感受性品種 IR28 を供試した。1998年7月8日にハト胸状態になった種子をガラス室内に播種し、木村氏B液を用いて水耕栽培した。葉齢6となった7月27日から0, 50, 100, 150 mM NaCl処理を 16日間行い、各処理区10個体について葉齢、1次根数を2日毎に調査した。IR28の0, 100 mM 処理区と IR4595 の0, 150 mM 処理区について、処理終了時に根系を FAA で固定し、1次根長、総根長、根乾物重を測定した。総根長の測定はイメージスキャナーを利用した画像解析 (Kimura, K et al. 1997) によった。そして、分枝係数 (総根長 / 1次根長) と太さ係数 (根乾物重 / 総根長) を算出した。

結果と考察

1次根数は IR28 では処理濃度が高いほど少なかったが、IR4595 では 100 mM 処理区まではむしろ増加する傾向があり、150 mM 処理区においても 0 mM 処理区とほぼ同じであった (表1)。分枝係数は両品種とも NaCl 处理により低下し、1次根の発生・伸長よりも側根の発生・伸長により大きな影響があったことが明らかになった。太さ係数は IR28 で低下した一方で IR4595 では増大した。IR28 では NaCl 处理によって細い根になる傾向が、IR4595 では逆に太い根になる傾向が示唆された。直径別の根長の頻度分布を見てみると IR4595 では直径 0.5 ~ 0.7 mm 程度の根の総根長に占める割合が増加し、実際に太い根になることが明らかになったが、IR28 では直径別の根長の頻度分布は 100 mM 区でもあまり変化していなかった。以上の結果から、IR4595 では NaCl 处理によって側根の発生が抑制され、根が太くなることが明らかになり、IR28 では直径別の根長の頻度分布が変化していないにもかかわらず太さ係数は低下し、根の充実度が低下した可能性が伺われた。T/R 比を見てみると、IR4595 では 0 mM 区、150 mM 区でそれぞれ 5.45, 5.33 とほぼ同程度であったのに対して、IR28 では 0 mM 区で 4.48, 100 mM 区で 6.77 と増大していた。NaCl 处理に対する根系形態の反応の品種間差には地下部への光合成産物の供給量が大きく影響していることが示唆された。

謝辞：画像解析にあたりマクロプログラムの提供と測定法に関するアドバイスをいただいた東北大学大学院農学研究科木村和彦氏に謝意を表する。また、本研究は文部省科学研究費（課題番号 10760012）の補助により行われたものである。

表1 NaCl濃度処理が根系形態に及ぼす影響

品種	NaCl濃度	1次根数	1次根長(m)	総根長(m)	乾物重(g)	
					地上部	地下部
IR28	0mM	100.6 (100)	11.01 (100)	54.75 (100)	0.691 (100)	0.154 (100)
	100mM	59.8 (59.4)	6.5 (59.0)	26.23 (47.9)	0.428 (61.9)	0.063 (40.9)
IR4595	0mM	92.4 (100)	8.15 (100)	93.92 (100)	1.425 (100)	0.262 (100)
	150mM	88.7 (96.0)	4.71 (57.8)	26.23 (27.9)	0.698 (49.0)	0.131 (50.0)

() 内の値は 0 mM 区に対する相対値

湛水処理によるエンドウ根根端域柔組織細胞の崩壊

仁木輝緒 (拓殖大学・工学部)

はじめに: エンドウ種子を比較的高い温度で発芽・発育させると、ある割合で根の維管束柔組織細胞の崩壊、空隙の形成が起こる。この空隙は根を湛水条件下や、低酸素濃度環境に置くと 100% の割合で形成される。これまでの実験から、この空隙は溶液の含まないものであることを明らかにしている。そして演者はこの空隙は組織内細胞への酸素供給の為のバイパス (Aerenchyma) として働いているのではないかと考えている。ところで、このような組織細胞崩壊はいかなるメカニズムによるのであろうか。このことを明らかにするために、今回は発芽・生育の途中で湛水処理を行う事により、その組織細胞崩壊の初期過程を光顕により形態学的に調べた。

材料と方法: 材料はアラスカエンドウを用いた。1L のトールビーカーを用い、内側に濾紙を巻き、さらに内側にバーメキュライトを入れ、DW を 375 ml 加え、アルミホイルで覆い、90 分オートクレーブ滅菌し、培地とした。種子 3.5 g (約 20 粒) を、上部約 3 cm のビーカー内側と濾紙との間に置き発芽・生育させた。播種後 4 日目に種子の位置まで水を加え、湛水処理とした。この時 7.5 ± 0.5 cm に伸長した根は処理 24 時間後において、先端 1 cm から 6 cm の部位において空隙が形成される。処理後、経時的に根先端から 3 cm の部位を切り取り、固定液にて固定し、樹脂包埋し、縦断薄切片を作成し、光学顕微鏡で観察した。

結果と考察: 4 日目での湛水処理は根の成長を抑制し、処理後 24 時間後の成長量は 1.0 ± 0.1 cm である (未処理根では 3.0 ± 0.5 cm)。湛水処理 1 時間では維管束柔組織細胞に崩壊に結びつく変化は観察されない。湛水処理 3 時間では 1/3 の数の根で、一部維管束柔組織細胞の崩壊が起こり始めていた。この時、崩壊が生じ始めている部位の近辺の崩壊前細胞では細胞質、(一部核が濃染するのが観察されるが、) 核等に顕著な変化は見られない。処理 6 時間では約半数の根において柔組織細胞の崩壊が生じていた。処理 12 時間後においては維管束柔組織細胞は崩壊し、長軸に沿った長い空隙の形成が見られる。光顕において観察される組織細胞崩壊は①細胞壁の切断、②細胞質の分解、③核の変化である。組織細胞崩壊の認め得る最初の変化は細胞壁の変化である。根の長軸に沿って一定の間隔で細胞壁が崩壊している。この時には、まだ 細胞質、核が観察できる。次に残存細胞壁の分解が起こり、空隙となった。崩壊する細胞壁は染色性にも変化が見られ、細胞壁の何らかの変化が生じているのが示される。細胞壁崩壊が第 1 に起きたのか、細胞内に何らかの変化が生じた後に生じているのか、現段階では不明である。この特徴的な崩壊のプロセスを議論したい。

軟 X 線による土壤孔隙構造の画像化とその定量的評価

岩間憲治

(滋賀県立大学環境科学部)

iwama@ses.usp.ac.jp

1はじめに 植物や土中の生物にとって必要な水分や養分は、土壤中の間隙で保持され透過する。一方、間隙の形状は複雑であり、三次元ネットワークを形成する。このため、土壤中での物質の挙動を明らかにするには、土壤の間隙構造そのものを定量的に把握することが必要と考えられる。

近年、放射線を用いて生物体などを非破壊で画像化する技術が進歩し、土壤物理学の分野でもこの技術を用いて間隙を画像化する研究がされてきた。そこで、波長が $1\sim5\times10^{-2}\text{nm}$ の軟 X 線を用い、植物根の腐朽跡や小動物の活動の跡と思われる管状間隙(以下孔隙)を画像化した¹⁾。さらにステレオ撮影にて孔隙構造の特徴を明らかにした²⁾。以上を踏まえ、今回はこの軟 X 線による土壤孔隙構造の三次元画像化に関する技術と孔隙構造の定量的評価に関する研究を紹介する。

2. 土壤孔隙構造の三次元画像化 供試土壤は、材質が、X 線透過性の優れたジュラルミン製サンプラーを使用して採取した。次に、減圧飽和して下端をペントナイトで覆い、上端に造影剤(CH_2I_2)を $0.5\sim1\text{cm}^3$ 滴下してふたをする。その後、土壤水分が下端から蒸発して造影剤が浸透するので、X 線カメラを通して陰影像を確認し、適宜軟 X 線ステレオ撮影する(Fig.1)。左右の孔隙画像は画像処理装置に入力し、どの陰影同士が同一孔隙であるかを同定しその座標をマウスで入力し、その三次元座標を求める。ついで写真に拡大して、その孔隙径を測定することで三次元画像が得られる。

3. 土壤孔隙構造の定量化 2.で得られたデータより、土壤間隙に関して様々なデータが得られる。Fig.2 は水田土壤における土壤孔隙の方向別分布を示しており、体積割合で見た場合、鉛直方向の孔隙が卓越するのが見られる。また、孔隙径分布を求めると 0.2mm と 0.45mm に 2 つのピークが見られ、鉛直方向に見られる大孔隙間を連絡する形で小孔隙が水平方向に存在する様子を定量的に示すことが出来た。また、このデータより透水係数を計算したところ、 $2.35\times10^{-4}\text{cm/s}$ であった。飽和透水試験での結果 $5.57\times10^{-4}\text{cm/s}$ であるが、陰影に現れた孔隙がこの供試土壤の透水性に大きく寄与すると考えられる。

4. おわりに この手法は、陰影の同定や孔隙径の計測を目視に頼るなど処理に労力を要し、多数の供試土壤を処理することが難しい。よって、現在、その処理の自動化と土壤孔隙の三次元画像の精度向上を目指して、新たにシステムを開発中である。

引用文献 1)徳永光一・成岡市・深谷高俊：農土論集(144):61-68(1984)、2)徳永光一・竹内正己・林貴峰：農土論集(126):75-80(1986)

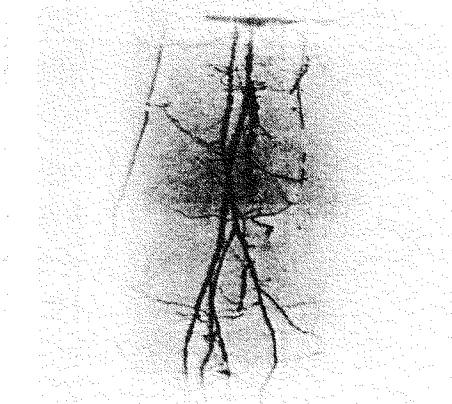


Fig.1 軟 X 線土壤孔隙画像(灰色低地土)

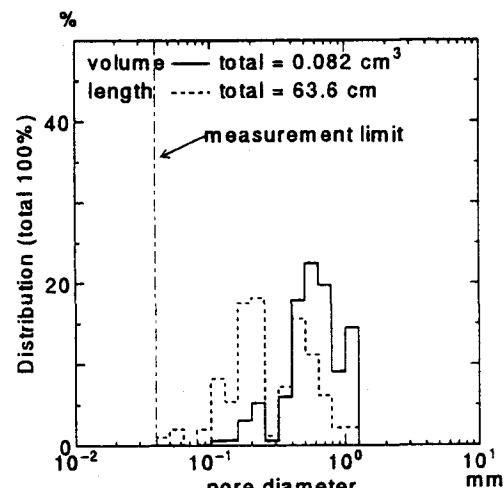


Fig.2 土壤孔隙頻度分布(灰色低地土)

施肥窒素反応性が異なるトマト品種の根形態および硝酸吸収速度の比較

菊地 直・山崎 浩道・木嶋 伸行・木村 武

(野菜・茶葉試験場 環境部 土壌肥料研究室)

〒514-2392 三重県安芸郡安濃町草生 360 TEL:059-268-4645

【目的】野菜栽培では肥料の多量施用が慣行化しており、特に過剰な窒素肥料による環境への負荷が懸念されるため、低投入型栽培の確立が急務となっている。トマトの窒素利用効率の向上を図るため、低窒素条件で良好な生育を示す品種の生理特性を明らかにすることを目的として品種比較試験を行った結果、「おどりこ」は「June Pink」よりも高い硝酸態窒素吸収能力を持つことが明らかとなった。本報では、硝酸態窒素の吸収機構における品種特性を解明するため、窒素吸収能力が異なるトマト品種の、低濃度域における high affinity な硝酸吸収機構について品種比較を行うとともに、根形態についても調査を行い、生理的・形態的な面から、硝酸態窒素吸収能力の品種特性について比較検討を行った結果について報告する。

【方法】トマト 2 品種（‘おどりこ’、‘June Pink’）をバーミキュライト・パーライト混合培地で 25 日間栽培した後、水耕栽培容器へ移植した。人工気象室で 18 日間予備栽培した後、窒素濃度を調整した水耕液（200ml）を分注した 200ml 容三角フラスコに移植（1 個体／フラスコ、各処理 3 連）した。窒素は KNO_3 で与え、窒素濃度は 0.01～1mM の範囲で 13 処理区設定した。処理後 2 時間目と 4 時間目に水耕液を採取しイオンクロマトグラフで硝酸濃度を測定し、処理前の硝酸濃度との差から吸収速度を算出した。4 時間目の水耕液を採取した後、植物体の新鮮重を測定し、根は根長および根表面積の測定に供試した。根は全量を 3～4mm に裁断し、水を張った透明アクリル容器に均一に分散した後、イメージスキャナー (EPSON GT-9000) で画像（解像度 240dpi）を取り込んだ。画像は 2 値化した後、ノイズを除去し、根長については 3cm 間隔の格子との交点数から交差交点法により算出し、表面積については根を円柱と仮定し、投影面積から算出した。これらの画像処理および測定には UTSCA Image Tool for Windows ver. 2.00 を用いた。

【結果及び考察】低濃度条件における硝酸吸収は、トマトにおいても Michaelis-Menten 式にあてはまることが確認され、低濃度条件におけるトマトの硝酸吸収は、他の作物と同様の機構によって行われていると推察された。また、「おどりこ」と‘June Pink’の K_m 値 (0.23mM, 0.12mM) には有意な差が認められ、「June Pink」の方が K_m 値が低く、高い基質親和性を示した。一方、最大吸収速度は‘おどりこ’の方が‘June Pink’よりも高い値を示したが、有意差は認められなかった。したがって、今回の実験では、‘おどりこ’と‘June Pink’の硝酸吸収能力の差を低濃度域における吸収機構の性質によって説明することはできなかった。今後は、低濃度条件における硝酸吸収速度の測定精度の向上による再検証とともに、高濃度条件における low affinity 吸収機構についても比較検討を行う必要がある。硝酸吸収に関する根の量的形質としては、根重、根長、根表面積が考えられるが、根重では両品種間にほとんど差がみられず、根長では‘June Pink’の方が有意に大きかった。根表面積は‘おどりこ’の方が大きい傾向を示したが、有意差は認められなかった。したがって、今回測定した根形態のパラメーターからは、‘おどりこ’の硝酸吸収における優位性は認められなかった。根の先端近傍が主な硝酸吸収部位であるという報告もあるため、測定するパラメーターについてはさらに検討を要する。

トウモロコシ根系の発育的可塑性と窒素吸収
田中佐知子*・山内 章・飯嶋盛雄・矢野勝也・巽 二郎
(名古屋大学大学院生命農学研究科)

作物の根系は、種々の生育環境に対して可塑性を発揮し、生育にとってより有利な構造を形成すると考えられる。例えば、窒素が根域内で不均一に分布している場合、窒素が局在する部位に相対的に大きい根長を配置し、そのことにより、窒素の獲得効率を上げることを見いたした(田中ら 1999)。

一方、1個体の根系は、種子根・節根・1次側根・2次側根などの様々な種類の根から構成されており、それらの間で機能も異なると考えられる。大きく見ると、側根は養水分吸収を担い、主軸根はそれら側根を土壤中に配置し、また集められた養水分を地上部へ輸送する役割を担っていると考えると合理的である。

以上の2つのことから、窒素が不均一に分布する根域内で、それぞれの根がその役割を最もよく発揮しうるように可塑性を発揮しつつ、根系を形成すると考えた。具体的には、種子根は窒素のない部位では伸長速度を速め、そこで側根配置量を減少させる一方、窒素のある部位では伸長速度を遅くし、側根配置量を増加させるという窒素獲得様式をとると仮定した。

本研究では、根域内において窒素を層別に局在させ、かつ、根系形成過程を非破壊的・経時的に観察できる実験系を組み立て、この仮説を検討しようとした。

【材料と方法】

塩化ビニル製容器(縦30、横20、深さ1.5cm)を縦方向に10cmずつの3層(それぞれ上層、中層、下層)に分け、各層に培養液で膨潤させた非イオン系吸水性樹脂(PNVA; 昭和电工)を充填し、各層とも、10×20cmの面を厚さ約3mmの0.7%寒天培地を張った不織布で覆い、樹脂と寒天を不織布で分けた。培養液は、窒素を含まないもの、2mM-NO₃⁻を含むものの2種類作成し、2処理区を設けた(第1表)。なお窒素以外の養分は同量となるよう与えた。

第1表 処理区

処理区名	NF	NO
上層	窒素なし	窒素なし
中層	窒素なし	2mM-NO ₃ ⁻
下層	窒素なし	窒素なし

トウモロコシ(Robust; タキイ)をグロースポーチ法で種子根が約5cmになるまで伸長させた後、寒天培地に定植し、人工気象室(12時間日長・昼30°C/夜25°C)で生育させた。以後、8時間毎にデジタルカメラで根系を撮影し、画像処理によって根長を測定した。播種後7日目に植物

体を採取し、器官窒素含量を測定した。

【結果と課題】

乾物重、根長、窒素含量において処理区間での有意な差は見られず、先述の仮説を支持する結論は得られなかった。しかし、NF区において、NO区に比べて種子根伸長速度が速く、かつ、その時の側根長は短い個体も認められたことから、仮説が成立する可能性がある。

また、樹脂からの窒素放出速度や植物個体の栄養状態、寒天培地中の窒素濃度などが、植物体の反応に大きく影響すると考え、それぞれの条件について現在検討中である。

【引用文献】

田中佐知子・山内章・飯嶋盛雄・矢野勝也・巽二郎 1999. 日作紀68(別2) : 202-203.

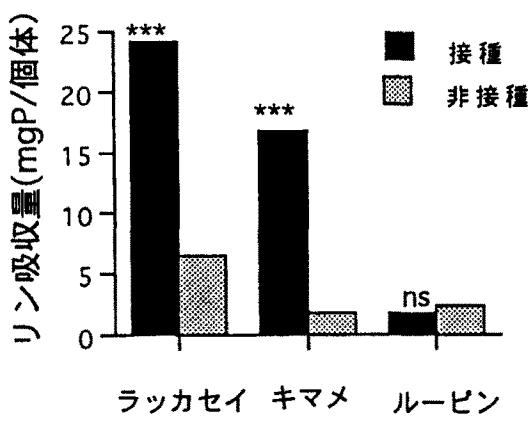
マメ科植物の難溶性リン酸利用能における菌根共生系の意義

柴田玲子*・矢野勝也 (名古屋大学大学院生命農学研究科)

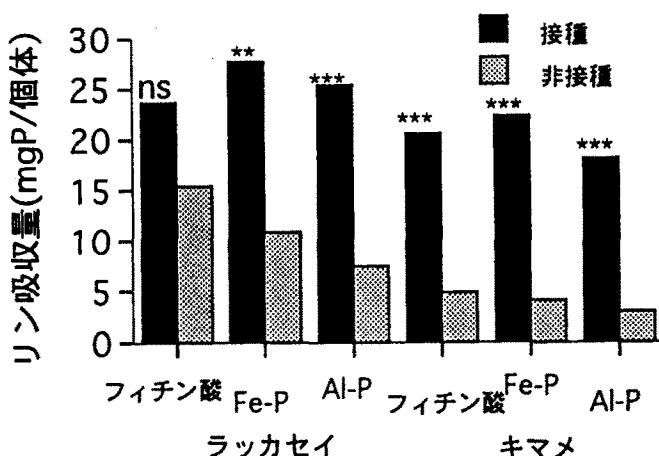
植物根と真菌の共生体である VA 菌根(以下菌根と称す)は、宿主植物のリン酸吸収を促進する。しかし、これまでの研究では菌根菌が Al-P, Fe-P あるいはフィチン酸などの難溶性リン酸を溶解できないとされている。本研究では、難溶性リン酸を溶解できる植物に菌根が形成されれば、相乗効果として難溶性リン酸の利用能が向上すると考え、その利用能が高いとされる数種マメ科作物を用いて、菌根形成の影響を調べた。

材料・方法 (実験 1) 1/5000a のワグナーポットに赤玉土を充填し、ポットあたり硫安 1.42g (0.3g; N), 塩化カリウム 2.8g (0.5g; K₂O) を施肥した。また、フィチン酸カルシウム 0.43g, AlPO₄ 0.34g, FePO₄ 0.63g, (P₂O₅ としてそれぞれ 0.2g) の混合物をリン酸源として与えた。ラッカセイ、キマメならびに菌根形成能を持たないルーピンを、1998年8月10日に表面殺菌後それぞれ播種した。菌根菌 (*Gigaspora margarita* Becker & Hall) の接種処理として、20g の菌根菌資材 (20 個胞子・g⁻¹) を接種区に与え、非接種区にはオートクレーブ滅菌した同量の資材をあらかじめ土壤に混和させた。昼温 30°C, 夜温 25°C, 湿度 70% の自然光型人工気象室で 42 日間栽培を行い、一週間に一度、濾過した土壤懸濁液と N, P, K 以外の養分をホーグランド溶液で与え、9月16日に収穫した。(実験 2) 供試作物としてラッカセイ、キマメを用いた。実験 1 で難溶性リン酸を混合物で与えたのに対して、フィチン酸、Fe-P、Al-P をそれぞれのポットに個別に与えた。実験 1 と同様の条件で 49 日間栽培を行った。

結果・考察 ラッカセイおよびキマメの接種区は非接種区より 3~10 倍高いリン吸收量を示した(第 1 図)。しかし、菌根形成しなかったルーピンにおいては、接種区および非接種区のいずれにおいても同様に低いリン吸收量にとどまった。この結果から、ラッカセイおよびキマメにおける菌根形成が、宿主植物の難溶性リン酸の獲得能を大きく増加させることが明らかになった。また、難溶性リン酸のうち、ラッカセイでは Fe-P および Al-P で、キマメでは全ての形態の難溶性リン酸において菌根形成による効果が認められた。そのような植物種における差異は、菌根よりもむしろ根の機能に基づくと思われた。



第1図 Al-P, Fe-Pおよびフィチン酸の混合物施用土壤で生育したマメ科作物のリン吸收量におよぼす影響。



第2図 形態別難溶性リン酸施用土壤で生育したラッカセイおよびキマメのリン吸收量における菌根菌接種の影響。

第1~2図において、ns, **, ***はそれぞれ有意差なし, 1%レベル, 0.1%レベルの有意差を示す。

水稻の疎植減肥条件下での施肥法が登熟期の出液速度に及ぼす影響

大橋善之 (京都府農業総合研究所) E-mail : yoshi@mbox.kyoto-inet.or.jp

京都府産米の同一品種で栽培条件による食味関連成分の変動は、アミロース含有率では小さく、タンパク質含有率で比較的大きい。そのため、減肥栽培によって、ある程度の生産性を維持しつつ、タンパク質含有率を低下させて食味を向上し、産地間競争力をつけることが求められている。また、西南暖地での疎植栽培は、収量が減少せず、登熟が向上し、秋まさり型の水稻となることがいわれている。一方、おいしい米を生産するためには、登熟期間における根の活性を高く維持することが重要であるといわれている。しかし、良食味米栽培における根の生理活性を検討した例は少ない。水稻における根の生理活性を評価するためには、出液速度が比較的簡単に圃場条件で測定できる方法である。

そこで、タンパク質含有率低下のために減肥と秋まさりの低投入型稻作である疎植栽培とを組み合わせた疎植減肥栽培を試み、その条件下での施肥方法を変えたときの登熟期間における根の出液速度を測定し、収量や粗タンパク質含有率などの関連を検討した。

<材料と方法>

1998 年に京都府農業総合研究所内の水田で水稻品種「どんとこい」を用いて第 1 表に示す試験区を設置し、5 月 14 日に稚苗を機械移植した。栽植密度は、慣行区では 22 株/m² (30cm × 15cm) とし、対照区、中間区、LP 区及び箱施肥区では現有の田植機の最大疎植の裁植密度 15 株/m² (30cm × 22cm) とした。施肥総量は、対照区、中間区、LP 区では疎植率に合わせて慣行区の 69% (N 成分) とし、箱施肥区では箱施肥専用肥料 (N : P : K=30 : 0 : 10%) を使用し、田植え後の苗使用量から慣行区の 35% (N 成分) と推定された。

出液速度の測定は、森田の方法 (森田, 1998) に従って、各区とも出液速度が最も大きい出穗期 (8 月 4 日) とその後低下していく出穗 21 日後 (8 月 25 日) の 2 回、各区 5 株、2 反復づつ実施した。1 時間、1 株の当たりの出液速度とともに、穂数で割った 1 穂当たりの出液速度を算出した。また、白米の粗タンパク含有率は、近赤外分析計 (NIRECO 社製 NIRS-6500) で測定した。

第 1 表 試験区の構成

試験区名	栽植密度 ^{*1} (株/m ²)	窒素施肥量(kg/10a)				
		基肥 ^{*2}	追肥	穂肥 I ^{*3}	穂肥 II ^{*4}	計
対照区	15.2	2.90 ^{*5}	-	1.75 ^{*6}	1.75 ^{*7}	6.40
中間区	15.2	2.00 ^{*5}	4.40 ^{*6}	-	-	6.40
LP 区	15.2	6.40 ^{*4}	-	-	-	6.40
箱施肥区	15.2	3.26 ^{*5}	-	-	-	3.26
慣行区	22.2	4.20 ^{*3}	-	2.55 ^{*7}	2.55 ^{*7}	9.30

^{*1} 栽植密度: 慣行区 条間 30cm × 株間 15cm、その他 条間 30cm × 株間 22cm^{*2} 基肥施用: 5 月 11 日、移植日: 5 月 14 日^{*3} 燃加安 14 号を使用^{*4} LPSS コシ 1 号を使用^{*5} 苗箱まかせ KK301 を苗箱に全量施用し、移植後の使用量から算出^{*6} KK6 号を 6 月 18 日に施用^{*7} KK6 号 7 月 10 日と 7 月 22 日に施用

<結果と考察>

疎植減肥条件下の対照区の 1 株当たりの出液速度は、出穗期では慣行区で大差なかったが、出穗 21 日後では慣行区よりも高くなった。対照区の 1 穂当たりの出液速度は、出穗期及び出穗 21 日後ともに慣行区に比べてやや小さかったが、有意差は認められなかった。

疎植減肥条件下の各区においては、出穗期の 1 株当たりの出液速度、1 穂当たりの出液速度とも、大差なかったが、出穗 21 日後では、対照区に比べて 1 株当たり出液速度、1 穂当たりの出液速度とも LP 区で高くなかった。出穗期から出穗 21 日後への出液速度の減少率は、LP 区 (80%) > 中間区 (61%) ≥ 対照区 (59%) > 箱施肥区 (47%) となり、LP 区の減少率が最も小さかった。精玄米重は、LP 区 (対照区比 110) > 箱施肥区 (同 107) > 対照区 > 中間区 (同 97)、粗タンパク質含有率 (CP) は、LP 区 (6.93%) > 対照区 (6.24%) = 箱施肥区 (6.20%) > 中間区 (5.79%) となった。LP 区では、止葉の葉色が出穗期以降も高く維持されており、このことが収量、CP が高い要因と考えられた。また、LP 区のような登熟期間まで施肥効果が現れる施肥法は、出液速度が高く、根の生理活性が高く維持されるため、収量が増大するが、CP も高くする傾向が認められた。一方、低 CP であった中間区では、出液速度が対照区よりもやや高い傾向にあったが、有意差は認められなかった。

以上のように、施肥法の違いによって出穗期の出液速度には差が認められなかつたが、出穗 21 日後の出液速度や出液速度の減少率には差が認められた。今後は、出液速度を指標とした登熟期間の根の生理活性が収量や品質に及ぼす影響をさらに検討したいと考えている。

<引用文献> 森田, 1998. 日作紀 67 (別 2) : 50-51

深根性に関わるイネの形態的特質の品種間差異を 多変量解析により検討する試み

Use of multivariate analysis in study on rice varietal difference
in morphological characteristics relating to rooting depth

近藤始彦¹・阿部 淳^{2*}・森田茂紀²

(¹International Rice Research Institute, ²東京大学大学院農学生命科学研究所)

陸稻の耐乾性向上の有効な解決策のひとつとして、育種や栽培管理により深根性を実現することが考えられる。この場合、根の量と分布を規定する、根の数、長さ、伸長角度が重要であるが、これらの根の形質は茎葉部の形質とも密接に関連していると考えられる。そこで、著者らは生態型や性格の異なるイネ品種を、水耕栽培および圃場栽培で、それぞれ施肥条件を変えて栽培し、茎葉部および根の形態的諸形質を検討している。

相互に関連する多数の形質を測定した場合、単相関や回帰分析、あるいは平均値の比較といった手法では、解析が困難な場合が多い。水稻の形態的形質の品種間差異の検討においては、主成分分析とクラスター分析とを併用した解析が効果を上げている（根本ら, 1992）。

ここでは、水耕実験のデータについて、主成分分析とクラスター分析を併用して品種間差異を解析した事例を中心に報告する。

[主成分分析とクラスター分析の手順]

水耕実験結果の解析においては、各品種の茎葉部形質（草丈、茎数、乾物重など）、根形質（根数、最長根長、総節根長、L型側根数密度など）、および茎葉部・根部比などを入力し、主成分分析を行なった。

寄与率の大きい第1主成分から順に、第3ないし第4主成分までについて、各形質の固有ベクトルの大きさをもとに、主成分の形態的な意味を検討し、2つずつの主成分について主成分得点による品種の散布図を作成して、各品種の特徴を検討した。さらに、品種間の形態的特徴からみた類似度を評価するため、主成分得点を用いてクラスター分析を行った。

圃場試験の結果については、測定項目が異なったため、根では根長密度、根重密度、土壤深層の根の割合などを入力したが、解析の手順は上述の水耕実験の解析法に準じて行なった。

[解析結果]

水耕実験の結果を、栄養条件の異なる処理区をこみにして、各品種の特徴を検討した事例では、各主成分の寄与率は、第1主成分=47%、第2主成分=32%、第3主成分=13%であり、第3主成分までで、品種間の変異の大半を説明できると考えられた。固有ベクトルから、第1主成分は乾物重などに代表される個体全体の発育量の大きさを、第2成分は草丈や最長根長に代表される個体の縦方向の大きさを、また、第3主成分は根への分配の大きさを示すと考えられた。第2成分、第3成分により評価される特性は深根性の実現に関わるものと推察される。

各品種の第1～第3主成分の主成分得点をもとに、散布図により各品種の特徴を検討した結果、個体全体の発育量・縦方向の大きさ・根への分配とともに大きい品種 (Dular)、個体全体の発育量も縦方向も大きいが根への分配は小さい品種 (Azucena など)、個体全体の発育量は小さいが根への分配は多い品種 (IRAT216)、縦方向の大きさが小さい品種 (IR43, IR72 など) といった品種あるいは品種群の特徴が示唆された。クラスター解析の結果もこうした品種間の差異と類似性を反映したものであった。

圃場での品種比較試験の解析では、第1主成分、第2主成分は、上述の水耕実験の場合と同様に、個体全体の発育量、縦方向の大きさを反映していると考えられ、第3主成分は深い層の根の量を反映していると考えられた。品種の特徴については必ずしも水耕実験でみられた品種特性と対応しなかった。

[引用文献] 根本ら 1992. 日本作物学会紀事 61 (別号 2) : 163-164.

土壤上比抵抗の計測による 茶樹根域の環境条件把握の試み

松尾喜義¹・西澤法聖²・遠矢聰志³・本間知夫¹・加藤忠司¹
(野菜・茶業試験場茶栽培部、²熊本県農業研究センター茶業研究所、
³鹿児島県鹿屋農業改良普及所)

(連絡先: 428-8501 静岡県榛原郡金谷町金谷2769 野菜茶試、
TEL: 0542-45-4101(代)、E-mail: matuok@tea.affrc.go.jp)

Application of a Resistance Meter for Monitoring of Rooting Area in Tea Bush

Kiyoshi MATSUO¹, Housei NISHIZAWA², Satoshi TOHYA³, Tomoo HOMMA¹ and Chuji KATO¹
(National Research Institute of Vegetables, Ornamental plants and Tea
² Kumamoto Prefectural Agricultural Research Center Tea Research Institute and
³ Kagoshima Prefecture Kanoya Agricultural Extension office)

高品質な緑茶は、遊離アミノ酸をはじめとする窒素成分の含有率が高いことから、遊離アミノ酸濃度や全窒素濃度が、茶の品質評価基準とされてきた。そのような背景から、茶の栽培では、通常の作物では例のない多肥栽培（窒素成分で100kg/10a/年以上）が長年行われてきた。そのため、茶樹に吸収されずに流出した硝酸性窒素による地下水や河川の水質汚染や、作土層で硝酸が脱窒されて生成する亜酸化窒素ガスの揮散等、過剰施肥による環境汚染が顕在化し、施肥量削減をはじめとする種々の対策が進められている。

それでは茶園で、なぜこれほどの多肥栽培に陥ったのかを考えると、茶園では肥料は、畝間の幅約30cmの範囲に局所施用されるため、施肥によって畝間の吸収根が枯死・消滅して養分吸収効率が低下し、それを補うためなお一層過剰な施肥になりやすいこと。さらに、畝間の土壤中における肥料濃度が、根の生存を許さないほど高くなっていても、樹冠下の内部の土壤は正常の範囲であるため、外観的に茶園をみても過剰施肥の影響が判別困難なこと、などがあげられる。

そこで、過剰施肥を是正する具体的な対策として、根圏の土壤養分濃度をモニタリングして適正範囲に管理することが考えられ、そのためのモニタリング装置としてECセンサー方式が開発・実用化され（静岡県茶業試験場岩橋らによる）、広く普及し始めている。この方式は、土壤埋設型のECセンサーをあらかじめ畝間に埋め込んでおき、その信号を定期的に測定して、土壤中の栄養塩類濃度の推移を推定するものである。この方法は、サンプリングなどの繁雑な作業なしに、茶園の肥料成分の変動を把握可能とする画期的なものである。ここで用いられている埋設型ECセンサーは、土壤液相の電気伝導度を測定するセンサーであるが、センサー表面近傍に限局された情報であること、埋設した状態で保持するため測定点ごとにセンサーが必要であること、電極のメンテナンスが必要であること、などの問題点も持っている。

そこで、本研究では、茶樹の根域の情報をモニタリングするための新しい方法として、土壤の比抵抗測定の適用性について検討したので報告する。比抵抗測定は、元々は地質学分野で、地質構造の物理探査のために開発された手法で、近年では、小型で簡便な装置は考古学で、遺跡の探査に用いられている。今回使用した装置も、考古学用に開発されたものである。

<材料と方法>

測定装置: GeoscanReseach社製の比抵抗測定装置 Resistance Meter RM4を用いた（国内取り扱い元は応用地質（株）計測技術研究所）。

測定場面: ①硫安の水溶液 (0.1g/l~50g/l) について、肥料濃度に対する比抵抗測定値の変化を、電極配置や電極間距離、電極の浸漬深度の影響、について調べた。

②上記硫安溶液を、細砂に混合して、石礫の混入や空隙の存在による測定値の変動を調べた。

③同様に赤黄色土と黒ボク土を用いて、肥料混入量と水分量が測定値に及ぼす影響を調査中。

④場内の茶園で、施肥量を変えた畝間部分について測定した。

⑤試験場周辺の農家茶園で、畝間土壤の比抵抗を測定した。

<結果と考察>

①硫安水溶液の濃度に応じて比抵抗が低下し、溶液の電気伝導度との対応関係が確認された。

②細砂についても含まれる肥料成分濃度に応じた測定値が得られ、直徑2cm程度のレキが混入しても測定値に大きな誤差は生じないが、大きな空隙やレキが電極中央部にあると問題になることがわかった。

④場内の茶園で、硫安施肥量の違う部分を測定したところ、施用量に応じた測定値が得られた。

⑤農家茶園でも肥料濃度の違いによるとみられる測定値の差異が認められたが、元々の土壤条件の差異との判別が課題である。

③データ取得中のため、研究集会で詳しく報告する。

<参考文献等>

岩橋光育ほか、静岡県茶業試験場研究報告 第19号 p49~58 (1995)

トウモロコシの根系機能の指標としての生体電位と出液速度の比較

○本間知夫¹⁾・森田茂紀²⁾・阿部淳²⁾・山岸順子³⁾

¹⁾野菜・茶業試験場茶栽培部

²⁾東京大学大学院農学生命科学研究所

³⁾東京大学農学部附属農場

【はじめに】

本間ら¹⁾は、生体電位計測による茶樹の生体情報計測技術の開発に関する一連の研究を行っており、圃場においても茎部より誘導した電位を長期に安定して計測できること、また根の状態に依存して電位は変化することを報告し、生体電位計測により根を掘り出さずに根系の状態が推定できる可能性を示唆している。しかし、電位がどのような根系機能を反映しているかについては不明な点が多い。一方、森田ら²⁾は茎部からの出液現象が根圧を利用した積極的吸水というエネルギーを利用した生理現象であることに着目し、イネやトウモロコシで出液速度測定による根系活性評価について検討を行っている。この方法は圃場において根を掘り出さずに比較的簡単に測定できるメリットがあるが、茎葉部を切除するため、同一個体について継続的に測定することができない。そこで本研究では、出液速度に関する知見が蓄積されつつあるトウモロコシを材料に、チャで行われている生体電位計測法を適用し、生体電位と出液速度の関係について調べることを目的とした。

【方 法】

東京大学農学部附属農場において 1999 年 7 月 1 日に条間 72cm、株間 22.5cm で播種後、慣行栽培したトウモロコシ(デントコーン)を材料とした。生体電位計測は、8 月 19 日～21 日、21 日～23 日(雄穂出現直前)、28 日～30 日の計 3 回を行い、それぞれ 3 個体について同時に測定した。電位計測のための注射針(テルモ 18G)は土壤表面より高さ約 10～15cm の位置に刺入した。計測 3 日目にこの刺入部より若干上で茎葉部を切除し、あらかじめ重量測定した脱脂綿を切断部に設置し、調理用ラップをかぶせた。30 分後に綿を取り外し直ちに重量を測定し、出液速度を算出した。

【結果 および 考察】

3 回の計測を通じてトウモロコシにおいても生体電位計測が可能であった。電位は日周変動を示し、朝方より上昇し午後にピークを迎える次第に減少するパターンで、出液速度の日周変化と類似していた。電位を測定した個体の出液速度とその測定直前の電位値との関係を調べたところ、1・2 回目の測定結果については相関が見出された(第 1 図)。3 回目のデータが異なる傾向を示したことについては、生育段階などの関係を今後さらに検討する必要がある。

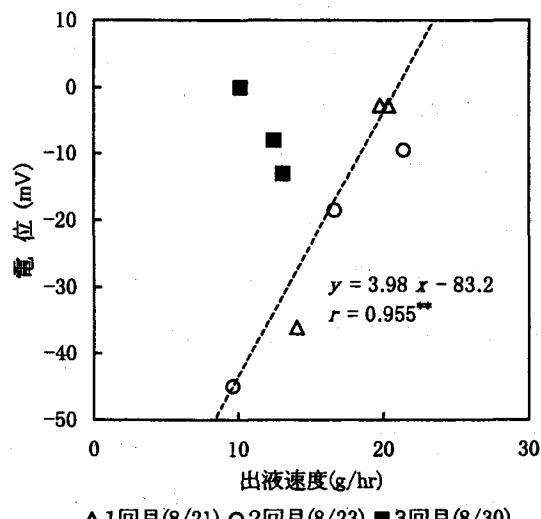
電位値と出液速度の間の対応関係が示唆されたため、今後さらに詳細に検討を行う予定である。

【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、東京大学農学部附属農場技術官の衛藤邦男氏には大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

【文 献】

- 1) 本間ら 第 9 回根研究集会講演要旨集(1998)
- 2) 森田ら 日作紀 67(別 1) 70-71 (1998)



第 1 図 株ごとの出液速度と生体電位との関係。

イネとトウモロコシにおける根冠細胞の脱落様相の比較

森田茂紀¹ *・飯嶋盛雄²

(¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科 ·

² 名古屋大学大学院生命農学研究科)

*anatomy@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

植物の根の先端には根冠という組織があり、根端分裂組織を物理的に保護している。この根冠は重力を感受するほか、その他の環境ストレスのセンサーとしての機能も有している。また、粘液物質を分布することによって、根の伸長を円滑にしたり、土壌粒子と密着して水分の吸収に役立ったり、土壌微生物との共生を保持したりしている。

ところで、根冠を形成する分裂組織が細胞分裂を繰り返して新しい細胞を送り出しているのにも係らず、根冠がほぼ同じ形・大きさを保っているのは、根冠の周辺から順次細胞が脱落しているからである。この根冠細胞の脱落は、粘液物質の分泌とともに、土壌中を根が伸長していくのに役立っていると考えられている (Bengough and McKenzie, 1997)。しかし、根冠細胞の脱落様相についての詳細は必ずしも明らかではない。

著者らは根冠を含む根端全体の形態形成を検討することと、根冠の形態と機能が根の伸長に及ぼす影響を解明するという両側面から根冠の形成について研究を始めたところである。その過程で、イネとトウモロコシにおける根冠細胞の脱落の様相が異なる場合があることを見いだした。すなわち、トウモロコシでは根冠細胞が脱落直後から個々の細胞に分離しやすい傾向が認められたのに対し、イネでは根冠の細胞が層状に脱落する場合が認められた。また、側根においても同様の傾向があった。ただし、イネでも出根直後に形成される初生根冠が脱落した後、個々の細胞が脱落するという観察もあるので(川田ら, 1979)、さらに生育段階に着目した検討を行なう必要がある。

(1)川田信一郎・鈴木茂・山崎耕宇 (1979) 日本作物学会紀事 48:303-310.

(2)Bengough, A. G. and B. M. McKenzie (1997) J. Exp. Bot. 48:885-893.

塩分ストレスがトウモロコシ根のカスパリー線の発達に与える影響
—塩分ストレスによって内皮カスパリー線の発達はより根端に近い細胞で起こる—

池田敦夫、近藤貴宜、○唐原一郎 (富山大学・理学部・生物)

維管束植物の根の内皮や外皮には、隣り合う細胞の間の細胞壁 (periclinal wall) の一部分にリグニンや疎水性物質であるスペリンが沈着したカスパリー線という細胞間構造が発達する。カスパリー線は、アポプラストにおける物質輸送のバリアとして中心柱内外でアポプラスト環境を隔てるとともに、中心柱内に水やイオンを保持する役割を果たしていると考えられている。私達は、環境要因の変化が内部組織の発達に与える影響を明らかにするための一つの系として、カスパリー線の発達に着目しその発達過程の解明に取り組んでいる。

今回は土壤中の重要な環境要因の一つである塩分環境がトウモロコシ根のカスパリー線の発達に与える影響について調べた。塩ストレスがカスパリー線の発達に与える影響については、これまでにワタの根で調べられており、根の先端から内皮のカスパリー線が見えはじめる位置までの距離が、NaCl の存在下では短くなるという報告がある (Reinhardt and Rost 1995)。しかし根の先端から内皮のカスパリー線が見えはじめる位置までの距離が短くなるという可能性には、細胞の伸長生長自体が変化するという可能性と、先端からの細胞の数自体が変化するという可能性の 2 つが考えられ、彼らの仕事ではこのことが明らかになっていない。今回はこれを明らかにすることを目的とした。

トウモロコシ (*Zea mays L.*) 種子を蒸留水と 0.1 M または 0.2 M の濃度の NaCl 水溶液で湿らせたバーミキュライトに播き、暗所で 25°C で 8 日間生育させた。まず主根の長さを 50 mm ごとに範囲を区切って度数分布を調べたところ、NaCl 濃度が高くなるにつれて根の長さは短くなっていた。それぞれの濃度で最頻値にある長さの根 (0 M では 150-200 mm, n=8, 0.1 M では 100-150 mm, n=8, 0.2 M では 50-100 mm, n=10) を選び、根から徒手横断切片を切りだし、ベルベリンとトルイジンブルーで染色し、UV 励起で蛍光顕微鏡で観察することにより内皮及び外皮のカスパリー線の形成を調べたところ、根の先端からそれとのカスパリー線が見えはじめる位置までの距離は NaCl の濃度依存的に短くなっていた。

根の先端から内皮のカスパリー線が見えはじめる位置までの距離は、蒸留水の場合 12.9 ± 0.8 mm (mean \pm SE, n=8)、0.2 M NaCl の場合 3.2 ± 0.2 mm (mean \pm SE, n=10) であった。そこで、蒸留水および 0.2 M NaCl で生育させた根の先端からそれぞれ 12.9 mm、3.2 mm までの部分を切り出し、いくつかの部分に分けて固定・樹脂包埋し、それぞれの試料から根の中心を通る縦切り切片を切り出し、それぞれの切片内に存在する内皮細胞の総数を数えて合計したところ、蒸留水の場合は 154 ± 10 個 (mean \pm SE, n=6)、0.2 M NaCl の場合 60 ± 5 個 (mean \pm SE, n=6) であり、有意に差があることがわかった ($U = 0.0, p = 0.0039$)。このことから、少なくとも内皮においては、塩ストレス条件下では無処理に比べてより根端に近い細胞においてカスパリー線が形成されるということがわかった。このことは塩ストレスによって内皮細胞においてカスパリー線形成が促進されたという可能性を示唆する。

画像解析法による根域制限ブドウ樹の根系計測

梅宮善章¹, 金原啓一², 中村ゆり¹ (1 農林水産省果樹試験場, 2 栃木県農業試験場)

一部の果樹では高品質果実生産のため、根域の土量を制限し養水分等の根域環境を制御する栽培法が実用化されている。根域制限栽培では、培土がきわめて限られた条件で栽培されることから、細根量が多くなり根の密度がきわめて高くなる。またTR比も低下するなど、栄養生長が抑制され結実安定に有効になるが、これは土壤中の肥料成分が短期間に吸収され遅くまで肥効が続かないことと、根の周囲の水が急速に吸収されるので頻繁に水ストレスがかかるためと考えられている。これらの解析のためには、根の表面積や根長等のパラメータの評価が必要とする。

本研究では根系の地上部と地下部の相互作用の解析を目的として、ブドウ地上部の生育を同程度にし培土量を変化させた場合の、地下部の総根長と根表面積について調査した。

方法

試験 1 ポット栽培 (培土 1.8 リットル) 2 年生 '安芸クイーン' を 6 月に解体調査。
試験 2 ハウス栽培根域制限 3 年生 '巨峰' (自根)。処理区: 培土量 30, 60, 90 リットル 3 区各 8 樹、培土は赤玉土とバーク堆肥を 2 : 1 に混合して調整し、施肥は窒素のみ液肥 (硝酸アンモニウム) とし他成分は基肥に施用。7 月に各区 1 樹を解体調査した。
根系の画像計測: 画像解析ソフトは Win RHIZO (REGENT INSTRUMENTS INC 社製) を用い、総根長、根表面積、根径別細根分布を測定した。

結果及び考察

果樹は個体が大きく根量も多いことから、画像計測による果樹根計測の実用性を検討した。ポット栽培ブドウ根系では、直径 2 mm 以下の細根を切断して A4 サイズガラス板に展開し、スキャナーに取り込ませた。根新鮮重が 264g の場合、137 tiff ファイル数となり 206MB の記憶容量を必要とした。根域制限栽培ブドウ根系では、1 個体当たり 320-450tiff ファイル数となり 440-670MB の記憶容量を必要としたが、総根量を用いた計測が可能であった。

ポット栽培 2 年生ブドウの根系は、ポット内面が中根で巡らされ細根量の分布は少なく、ポット内土壤は緻密となり物理性も不良であった。ブドウ根の総根長は 759m、平均直径 0.05cm、根表面積 1.29 m² であった。

根域制限栽培 3 年生ブドウの根系は、培土の物理性も良好であり、細根量も多く分岐も発達していた。総根長は 1425m (30L), 2111m (60L), 1996m (90L) であり、根表面積が 4.11 m² (30L), 5.95 m² (60L), 5.56 m² (90L) であった。培土量 60L 以上では総根量と根表面積がほぼ同程度であり、培土量 30L ではいずれもが抑制されたことから、根域制限条件で地上部を支持するのに必要な培土量は 60L 以上と考えられる。また灌水位置付近で、培土表面から 30cm までの深さのコアサンプリングによる総細根長を比較すると、30L では表層 0-10cm で、60L では 10-20cm で、90L では 20-30cm で最も多くなった。これらは培土中の水分供給と水分ストレスの状態を反映していると考えられる。

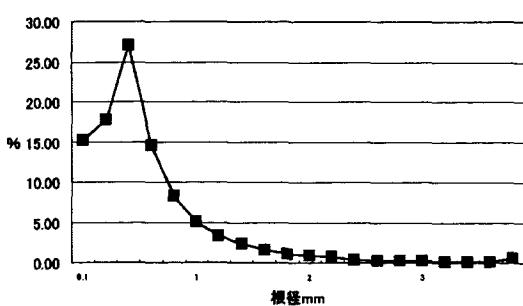


図 1 細根別細根分布(ハウス根域制限巨峰 培土量30リットル)



図 2 ブドウ根域制限栽培

茶の根群に関する栽培学的研究

山下正隆

九州農業試験場

茶の栽培では、光合成器官である葉が収穫対象となっていること、同一ほ場に数十年にわたって高密度で栽培されるため、根群の主要な分布域が幅30cm余りのうね間に制限されることなど他作物にみられない特徴がある。このため樹勢を維持するための定期的な更新処理を必要とする。地上部の更新法としての整せん枝技術はすでに確立されているが、地下部の更新法としての深耕・断根処理技術については、有効とはされてきたものの、これまで年次間差、地域間差が大きく、更新技術としての信頼性に乏しかった。これは、根の生育特性や断根後の根の再生の特性など、処理効果を裏付けるための理論的基礎が十分解明されていなかったためであろう。そこで、深耕・断根による効率的な樹勢の回復、増進を図るため、地上部と地下部を有機的に結び付けた樹勢更新技術の確立をめざした。本試験は、まず茶樹根群の形成、発達の経年変化、周年変化を明らかにした上で、茶樹特有の栽培管理が根の生育、機能に及ぼす影響を追究した。これらの知見を踏まえて、断根処理の影響、処理後の再生現象を検討し、さらに、成木茶園において技術の有効性を実証したものである。一連の研究結果は以下のように要約される。

茶樹では断根後の根の再生の良否と新芽生産との間には密接な関係が認められた。したがって、断根処理後の速やかで旺盛な根の再生は断根に伴う地上部の生育抑制を緩和し、樹勢、収量、品質の向上効果を高めると考えられた。このような考えに基づき、深耕・断根処理の必要性から処理による樹勢の回復、増進にいたる経過を示すと、以下のとおりである。すなわち、長年の栽培管理、土壤条件の悪化、その他の障害が原因となり、茶樹は生育、収量の低下をきたす。このような場合の樹勢回復手段の一つとして深耕・断根が有効である。断根処理は根量を減少させ、養水分吸収力を一時的に減退させる。また、オーキシン、サイトカイニン等のホルモン代謝を変化させるとともに樹体内炭水化合物、窒素成分が地下部に優先的に配分されるようになる。これによって残された根部全体で白色根の活発な発生、生長が促される。このような断根後の根の再生態勢は処理の強度、時期、葉層の有無、品種等の栽培的要因によって大きな影響を受ける。一方、地上部の生育は光合成の減退、養分不足のために一時的に抑制され、このことが処理翌年の生育、収量低下の原因となる。白色根の再生とともに養水分吸収力は回復し、さらに旺盛な再生を促すが、この時深耕部だけでなく株元部に施肥する形で窒素を施用することは根のおう盛な再生にきわめて効果的である。この効果は有機物との混用でさらに高まる。また、再生促進の補助的手段として尿素の葉面散布あるいはIAAの葉面散布も効果的である。このような経過をたどり新たな活力の高い根群が形成されると、養水分吸収力が回復し、光合成能力も高まる。このことによって地上部の生育も再び活発となり、収量、品質が向上する。しかし、このような効果が期待できるのは早くとも処理後2~3年目以降である。これらの一連の研究結果は、茶樹の根系形成を初めて体系的に解明し、従来の深耕・断根処理技術の改善に重要な示唆を与えるものとなった。

参考文献

- 山下正隆 1989. 野菜試験場報告D (久留米), 2 : 29~117.
Masataka YAMASHITA et al. 1995. Jap.J.Crop Sci. 64 : 740-746.
山下正隆 1996. 農業および園芸, 71 : 923-931.
山下正隆ら 1997. 日作紀 66 : 229-234.

Title Studies on root system and regrowth after root pruning in tea plants.

Author Masataka YAMASHITA

下等維管束植物の根の進化と地下器官の多様性

今市 涼子

(日本女子大学・理学部・物質生物科学科)

根は根冠に覆われた頂端分裂組織をもつ軸状器官で、茎、葉とともに下等維管束植物、すなわちシダ植物段階で進化した器官である。しかしその起源については化石の記録も乏しく、未解決の問題として残されている。維管束植物の根はその分枝様式から2つに分類される。小葉類にみられる二又状に分枝する根と、大葉類にみられる、主根と側根の区別のある単軸状に分枝する根である。小葉類の根では頂端分裂組織が均等に二又状に分かれるので発生は外生的である。これに対して大葉類では側根原基は主根の維管束近くに作られた後、皮層組織、表皮を壊して外に出現するので、発生は内生的である。近年の分子系統学的研究は、維管束植物は2つのグループ、すなわち小葉類（ヒカゲノカズラ類、イワヒバ類、ミズニラ類）と、大葉をもつ植物群（狭義のシダ植物、トクサ類、裸子植物、被子植物）に大別されることを示している。以上のような形態、分子のデータから、小葉類と大葉類の根はそれぞれ独自に起源した可能性が高いと考えられる。化石では小葉類では *Asteroxylon*、大葉類では *Psilophyton* それぞれにおいて、地下軸にみられる極端に細い側軸が、根の起源と関連あるとの指摘がなされているが、組織の保存状態は悪く、進化過程は不明である。

原始的な維管束植物であるシダ植物では器官の多様性が高く、根に類似した軸状器官の存在が知られている。イワヒバ属の「担根体」とマツバランの「地下茎」である。イワヒバ属の「担根体」は、茎の分枝部から外生的に生じる軸状器官で、根冠は存在しないが重力屈性を示して下方に伸長した後、地面近くで先端から2本の根を生じる。その後、根は二又分枝を繰り返していく。1960年代に、担根体の頂端細胞が直接に根の頂端細胞に分化するという報告がなされて以来、担根体は二又分枝を繰り返す根の一部、すなわち地上根にすぎないとする解釈が広く受け入れられてきた。しかし筆者らが行った樹脂切片法を用いたコンテリクラマゴケの詳細な研究は、この地上根説を否定する結果となった。すなわち根の頂端細胞は、担根体の頂端細胞とは関係なく、担根体内部に新たに形成されるのである。根の頂端分裂組織を覆っていた担根体組織は、根の伸長とともに壊れて剥がれ落ちる。さらに熱帯性の大型イワヒバ属3種では、根の頂端細胞が形成されるまでに、担根体は1つの軸状器官として2、3回二又状に分枝することが示された。以上のように担根体と根との間には発生上の不連続がみられることから、担根体は根の一部とする説は受け入れがたい。

マツバランの「地下茎」は、機能的には根の役割を果たしているが、根冠をもたず、仮根しか作らないことから長い間、茎と解釈されてきた。しかし葉を作るという茎としての最大の特徴を欠いている。「地下茎」は均等あるいは不均等に分枝するが、分枝の起こる方向、分枝の順番などに全く規則性がみられないことが、水耕栽培実験で確かめられた。さらに、頂端分裂組織の先端に存在する四面体型の頂端細胞が3側面で規則的に派生細胞を切り出す点では茎頂と同様であるが、派生細胞内の分裂様式が特異であることが示された。すなわち、派生細胞はかなりの高頻度で斜分裂を起こして新しい頂端細胞を次々と形成するのである。しかも作られた新頂端細胞の約半数が、側枝の頂端分裂組織を作ることなく消失してしまうことが、実際にみられる側枝の数と派生細胞由来の表皮細胞数の比較から推定された。また多数の新頂端細胞のうちどれが消えてどれが残るのか、新たに作られた頂端分裂組織がどの程度成長するかなど、全く規則性はみられない。このような頂端分裂組織の構造は非常に原始的であると考えられ、規則的な分枝を行う一般のシダ植物の茎頂にはみられない性質である。以上の結果から、イワヒバ属の担根体とマツバランの地下茎は、器官学的には根でも茎でもない、むしろ根、茎、葉に匹敵する独立の器官であることが示唆される。

謝辞 担根体については東京大学理学系研究科の加藤雅啓教授、マツバランについては当教授と滝口友紀子氏（現、明治製菓薬品総合研究所）との共同研究である。両氏に心からお礼申し上げる。

森林における土壤呼吸の変動要因に関する研究

大橋瑞江 (九州大学農学部)

812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1, E-mail: mizue@agr.kyushu-u.ac.jp

光合成によって固定された大気中の炭素は、その多くが樹冠や幹などの植物体に固定された後、落葉落枝として土壤に供給される。これらの落葉落枝は土壤微生物や動物の呼吸によって最終的には CO_2 に分解され、根の呼吸によって生じた CO_2 とともに大気中にまた放出される。この土壤圈からの CO_2 の放出は、一括して土壤呼吸と呼ばれてきた(Fig. 1)。

近年、土壤呼吸の研究は、地球環境問題の浮上と共に重要性を増してきた。現在、森林土壤から発生する CO_2 は、光合成による炭素固定量とほぼ等しい年間 50 Gt と見積もられている。しかし大気中の CO_2 濃度は、年に 3 Gt というこれまでに無い速さで上昇しており、この CO_2 濃度の上昇によって地球の温暖化が進行すれば、さらに根や土壤有機物の呼吸が促進される可能性がある。その結果、土壤呼吸による炭素放出量が、光合成による炭素固定量を上回り、大気中の CO_2 濃度の増加が一気に加速することも危惧される。

さらに土壤呼吸は、森林の炭素固定機能を評価する上でも重要視される。森林が光合成によって炭素を吸収し、地上部や地下部へ固定する働きは、大気中の CO_2 を削減する有効な手段の一つとして考えられている。しかし、森林の炭素固定量を正確に評価するには、炭素の吸収量だけでなく、固定した炭素の分解(放出)量についても把握することが必要不可欠がある。なかでも土壤呼吸は、炭素の放出源として重要な位置を占め、複雑な土壤内の炭素動態を代表するパラメーターとしてその有効性が認められている。しかし森林では土壤呼吸の測定そのものが困難であったため、その量、動態、変動要因に関する情報がいまだに少ない現状にある。

そこで本研究では、林床における土壤呼吸の変動とその変動要因を明らかにすることを目的とした。まず、従来の土壤呼吸の測定に用いられたチャンバー法は、チャンバー内の不自然な環境が、測定値に影響を及ぼす可能性があった。そこで、チャンバー内環境と土壤呼吸との関係を明らかにし、より簡便で精度の高い装置を開発した。次にこの装置を用いて、野外条件下での土壤呼吸の動態を調べた。主にスギ林床における土壤呼吸の日変動と季節変動、さらに林内における土壤呼吸の空間的な広がりを測定し、環境要因との関係を明らかにした。さらに地上植生と土壤呼吸との関係について調べた。まず、土壤呼吸に占める樹木根の呼吸の割合を推定した。次にクヌギ及びスギの幼齢林で、地上部の成長(根量の増加)に伴う土壤呼吸の変化を明らかにした。ここではこれら一連の研究の中で、特に土壤呼吸に及ぼす地上植生の影響について報告する。

植栽鉢からの土壤呼吸に占める根の呼吸の割合

クヌギとスギの植栽鉢を用いて、鉢からの土壤呼吸量に占める根の呼吸の割合を求めた。苗木が鉢に植栽された状態(地上部+根+土壤)、地上部を切断した状態(根+土壤)、根系を除去した状態(土

壤)でそれぞれ土壤呼吸を測定した。その結果、地上部除去、根系除去によって土壤呼吸は減少した。根系除去による土壤呼吸の減少量を根の呼吸速度としたところ、根の呼吸は全土壤呼吸の約半分を占めると算出された。

スギ人工林の林床からの土壤呼吸に占める根の呼吸の割合

スギ人工林で土壤呼吸に占める根の呼吸の割合を推定するため、林内に小ギャップを設け、ギャップ内と林内の土壤呼吸速度の差から根の呼吸速度を算出した。土壤呼吸速度は、1年目はギャップ内と林内に差は認められなかったが、2年目はギャップ内が林内よりも減少した。2年目のギャップ内と林内との土壤呼吸の差を根の呼吸速度と仮定し、根の呼吸速度を算出した。その結果、土壤呼吸に占める根の呼吸は40~70%の範囲にあり、その平均値は49%であった(Fig. 2)。

地上部の成長に伴う土壤呼吸の変化

クヌギ及びスギの幼齢モデル林を対象に、植栽(播種)後3年間の地上部の成長に伴う土壤呼吸の変化を明らかにした。各植栽区の年間土壤呼吸量は、1年目はいずれも対照区(裸地)とほとんど差が無かったのに対し、2年目は対照区の約2倍、3年目は約2.5倍になった。植栽区と対照区との年間土壤呼吸量の差は、主に根量の増加が根の呼吸の増加をもたらしたためと考えられた。各植栽区と対照区との土壤呼吸の差が根の呼吸に由来するとして、土壤呼吸に占める根の呼吸の割合を推定したところ、クヌギ、スギでそれぞれ1年目が15%と33%、2年目は50%と59%、3年目は55%と60%となった。

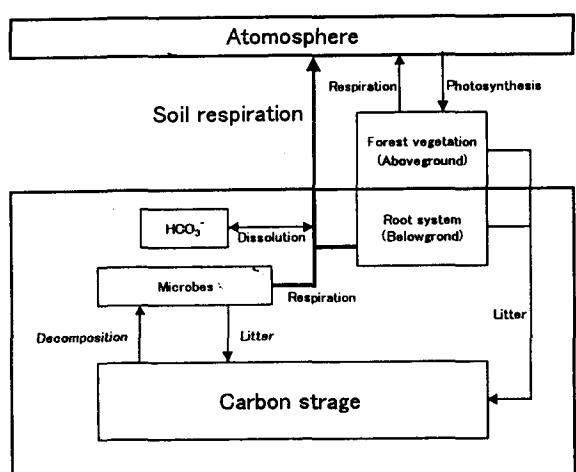


Fig. 1 Carbon cycle in forest ecosystem

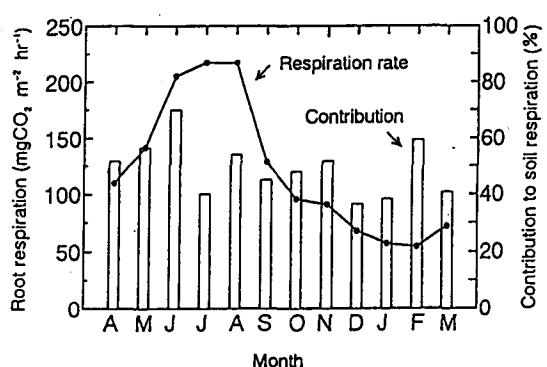


Fig. 2 Seasonal changes in root respiration rate and contribution to soil respiration from April 1997 to March 1998

謝辞 本研究を遂行するにあたり、ご指導を頂きました九州大学農学部造林学教室の齋藤 明教授、および玉泉幸一郎助教授に厚く感謝の意を申し上げます。また、本研究を進めるにあたりご協力頂いた当造林学教室の学生諸氏に感謝いたします。なお、この度の受賞にあたりご推薦、ご審査を賜りました山内 章先生(名古屋大)はじめ諸先生方及び根研究会関係者各位に深く感謝いたします。

水稻根系の表現型変異に関する研究

泉 泰弘 (滋賀県立大学環境科学部)

〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500, e-mail: izumi@ses.usp.ac.jp

水稻根系を調査する上では、節根（冠根）だけでなく、そこから発生してくる側根（分枝根）の発達も十分考慮に入れる必要がある。なぜなら他の作物と同様、水稻でも側根が根系表面積の大部分を占めており（川島、1988），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からである。また、土壤空間での側根の配置も養水分吸収にとって極めて重要であるため、側根発達は量（数・長さ）だけでなくアキテクチャー（側根の発生と発達によって規定される根系のかたち）によっても評価することが望ましい。

著者は、種子根軸および側根で構成される種子根系を材料として、アキテクチャーの水稻品種間差異を明らかにしようとした。ただし、根系は地上部に対して栄養的に従属する器官であるため、根系発達に見られる品種間差異を地上部の発達程度に起因する部分と切り離すことは容易ではない。また、根系形態は地上部と比べると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いために、ある1つの生育条件下で示された品種間差異によって品種固有の根系発達の特徴を見い出すことも非常に難しい。そこで、川田ら（1967）によって開発された分離根培養法をメインの実験系として採用するとともに、同じ培地を用いてインタクト植物を生育させる系、さらには土壤環境の影響も含む土耕栽培系でも比較を行い、それぞれの系で示されるアキテクチャーの品種間差異を総合して、各品種の根系発達の特徴を把握しようと試みた。

なお、著者は根系形態の評価にフラクタル解析（Tatsumi ら、1989）やトポロジー解析によって得られる数学的な指標も併せて用いた。というのは、アキテクチャーを根数や根長などの発育学的形質によって表現する従来の方法では、パラメーターが多くすぎるために形態的特徴が理解しにくくなっていると考えられたからである。一方、数学的解析による指標では、根系のアキテクチャーのある部分について、値が大きいか小さいかによって評価することが可能である。なお、水稻の場合は側根が主根軸から発生する度合いが比較的高いために、完全に主根軸からの発生だけの場合（魚骨型）に対する比の方が根系発達に伴うマグニチュード (μ) の影響が小さく、根系のトポロジー解析の提唱者である Fitter ら（1988）の指標、すなわち側根の分枝がランダムであると仮定した場合の期待値を基準とするものよりも分枝パターンを正確に反映することを見い出した。そこで、それらをトポロジー指數として用いることとし、併せてフラクタル次元 (D) や平均リンク長によってもアキテクチャーの評価を行った。そして、これらの指標が根系の大きさや分枝パターンの複雑さをある程度正確に表現していたことから、これまで発育学的形質によって表現してきた根系の形態的特徴を、より簡潔な表示法に置き換えて評価できることを示した。

6通りの生育条件下での比較によって、供試した7品種のうちインド型3品種の根系発達様式が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が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が明らかとなった。このように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、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、根系形質の遺伝様式が地上部のそれとは完全には一致しないことを示唆した。また、側根の量的発達程度（大きさ）を代表する総根長において、培養分離根とインタクト植物の根系で認められた変異とで共通する傾向を一部認めたことから、それが地上部の生育とはある程度独立して存在する根自身の発達能力に起因するものと推論した。また、培地の窒素源の違いが根系の大きさと分枝パターンとに大きな影響を及ぼしたのに対して、地上部の有無は分枝パターンの複雑さとはあまり関係がないことから、それが地上部発育とはかなり独立した形質である可能性を見い出した。

これまでの研究を総括すれば、様々な実験系を用いた根系形態の調査により、根系発達における表現型の可塑性がいかに大きいかを実際に示すとともに、表現型変異を数学的指標も含めて定量的に評価するための方法論を確立したことが最大の成果であると考える。

【引用文献】Fitter, A. H., R. Nichols and M. L. Harvey 1988. Funct. Ecol. 2: 345-351.

川島長治 1988a. 日作紀 57: 26-36.

川田信一郎・石原愛也・角田昌一 1967. 日作紀 36: 68-73.

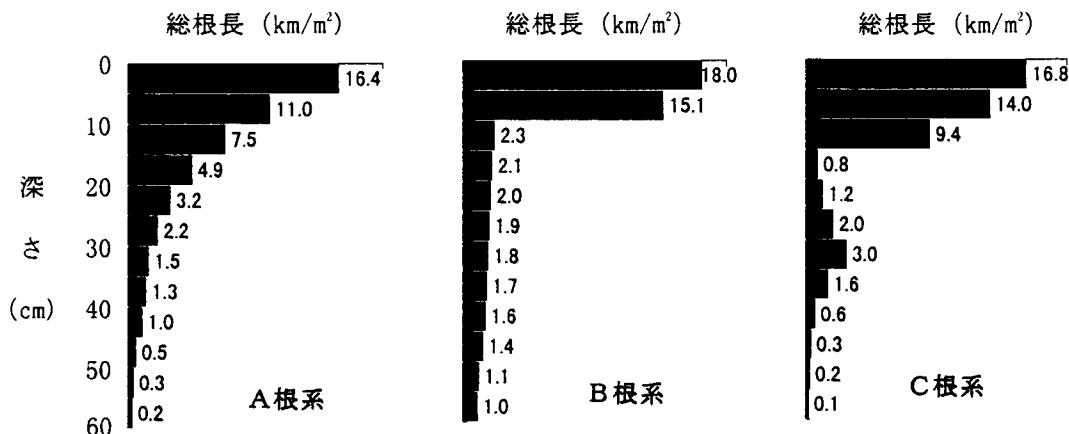
Tatsumi, J., A. Yamauchi and Y. Kono 1989. Ann. Bot. 64: 499-503.

「根の深さ指数」による根系の定量化

小柳敦史
(農業研究センター)

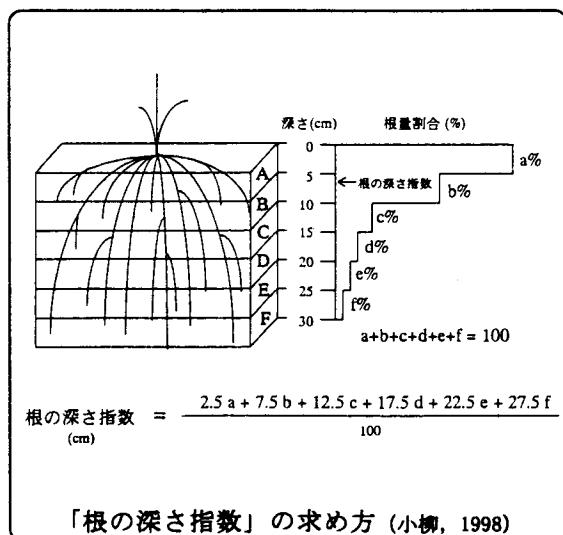
形態モデル（中元, 1998）が開発されているとはいえ、「深い根系はどれですか？」というような素朴な疑問に答えるのは、なかなか難しいものです。ここではまず、間に答える形で、根系の深さについて考え、つぎに「根の深さ指数」を用いた解析例を紹介します。

(問) 下の3つの根系を深いと思う順に並べ、答の欄にA, B, Cを記入してください。



(答) 深い順に (　根系) > (　根系) > (　根系) です。

- (ヒント) 1. いずれも、深さ60 cmより深い層には、根はありません。
 2. いずれも、根長の合計は、圃場面積当たり50 km/m²です。
 3. あまり難しく考えないで、直感で答えてくださいね。
 4. 「根の深さ指数」を用いた回答例を講演で御紹介します。



【参考文献】

- 中元朋実 (1998) 根系の形態モデル. 根の事典編集委員会 (森田茂紀・阿部淳 編集代表) 編, 根の事典, 朝倉書店, 東京. 93-107.
 小柳敦史 (1997) 「根の深さ指数」の計算方法とその利用法. 根の研究 6 : 33.
 小柳敦史 (1998) 深さの定量化による作物根系の新しいとらえかた. 日作紀 67 : 3-10.
 小柳敦史 (1999) 土壌環境と根の発達. 土壌の物理性 82 : 3-9.
 辻 博之 (1998) 不耕起畑における作物の根系, 植物の根に関する諸問題 (61). 農業及び園芸 73 : 919-923.