

## 第 19 回根研究集会発表要旨

2003 年 11 月 15 日 (土曜日) 10:30~18:15  
筑波大学総合研究棟 A

### 口頭発表

#### <セッション 1 座長 高橋秀幸 (東北大学大学院生命科学研究科) >

1. 水稲栽培における穂肥が出液速度および出液中の全窒素量に及ぼす影響  
○境垣内岳雄・阿部淳・森田茂紀 (東京大院・農学)
2. 異なる施肥条件による登熟期の水稲の出液速度と登熟の関連について  
○下田代智英・五位塚のぞみ・佐々木修 (鹿児島大・農学)
3. オオムギ幼根の水透過性に関連する水チャネルの夜間における発現  
○且原真木・小塩和輝・柴坂三根夫・笠毛邦弘 (岡山大・資生研)
4. オオムギの水輸送と塩ストレス応答  
○大塚 岳・且原真木 (岡山大・資源生物)
5. アーバスキュラー菌根菌はどのようにリン酸を植物へ供給するか?  
菌糸細胞内微細構造の役割  
○斎藤雅典 (農業環境技術研究所)
6. 微生物産生多糖を利用した植物根への窒素供給  
○小林崇良・滝口泰之・平塚高司・浅川大介・山口達明 (千葉工大・生命環境)

#### <セッション 2 座長 馬建鋒 (香川大学農学部) >

7. 根箱法を用いたラッカセイの根系形成の解析  
○田島亮介・田中丸耕治・阿部淳・森田茂紀 (東大院農・農場)
8. 小麦畑における不耕起処理が土壤窒素発現と窒素吸収・根生育へ及ぼす影響  
○近藤始彦 (作物研究所)
9. セスパニアとクロタラリアのリン回収能とすき込みリン資材としての評価  
○信田和恵・大門弘幸・大江真道・原田二郎・森川利信・石丸恵 (大阪府大院・農学生命科学)
10. マルチによる根域環境の平準化が低硫酸根肥料を用いた養液土耕 (灌水同時施肥) により生じる硫黄欠乏を改善する  
○中野明正・上原洋一 (野菜茶業研究所)
11. 土壌の圧縮は根に対する Al 毒性を軽減する?  
○矢野勝也・川崎通夫 (名古屋大院・生命農学)

#### <セッション 3 座長 唐原一郎 (富山大学理学部) >

12. ライムギ根端におけるアルミニウム誘導性タンパク質の解析  
○古川純、馬建鋒 (香川大・農学)
13. トウモロコシにおける生長や環境変化に伴う核内多倍数性の発生パターンの変化  
○小川敦史・田口奈々子・川島長治・三吉一光 (秋田県大・作物生態)
14. 毛状根培養系を利用した遺伝子機能解析 ~毛状根培養系を使ってみませんか?  
關光・中嶋千晴・吉田茂男・○村中俊哉 (理研・植物センター)
15. 薬用植物カンゾウ *Glycyrrhiza uralensis* における効果的な毛状根誘導法について  
○高上馬希重・中嶋千晴・關光・吉田茂男・村中俊哉 (理研・植物センター)
16. シロイヌナズナにおける水分屈性突然変異体 (*rhy1*, *rhy2*, *rhy3*) の特性解析と突然変異遺伝子のマッピング  
○小林啓恵・柿本洋子・藤井伸治・高橋秀幸 (東北大院・生命科学)

## ポスター発表

1. コムギとトウモロコシの初生種子根の切除がその他の種子根系の側根発育に及ぼす影響  
○田中丸耕治、森田茂紀、阿部淳（東京大院・農学）
2. 圃場栽培したトウモロコシおよびソルガムの節根の伸長方向と根冠の形態  
○伊藤香織・森田茂紀・阿部淳・稲永忍（東京大院・農学）
3. 寒天溶液を用いた低酸素処理に強いコムギ品種の根の特徴  
○小柳敦史・宮地朋子・小林浩幸（東北農業研究センター）
4. 異なる土壤水分条件によるトウモロコシの根系構造の変化が水利用効率に及ぼす影響  
○地頭所邦展・下田代智英・佐々木修（鹿児島大院・農学）
5. FACE 条件下における水稻根系の形態および生理的活性  
○境垣内岳雄・森田茂紀・阿部淳・小林和彦（東京大院・農学）、岡田益己（東北農業研究センター）
6. 陸稲・水稲品種間の出液速度の変異とその形態的要因  
河西佑太郎・○阿部淳・森田茂紀（東京大院・農学）
7. イネの生育と収量に対するケイ酸の影響の再評価  
○玉井一規・馬 建鋒（香川大・農学）
8. ホウレンソウ根系分布と客土等によるカドミウム吸収抑制効果  
○菊地直（野菜茶業研究所）・宮地直道（日本大学）・村上弘治（野菜茶業研究所）
9. 茶樹における木化根の乾物蓄積量の推定  
○松尾喜義（野菜茶業研究所）
10. 施肥量の違いによる茶樹細根量の変化  
○喜多嶋秀之（科学技術振興センター農業研究部）
11. 空気中でのサツマイモ塊根形成－葉数および根径の異なる植物について－  
○江口壽彦（九州大・生物環境調節センター）
12. 北海道北部の冷温帯林における地上部および地下部の生産量・枯死量  
○福澤加里部（北大院・農）・柴田英昭・高木健太郎・佐藤冬樹、笹賀一郎、小池孝良（北大・北方生物圏セ）
13. ダイズ地下部に依存した NaCl 地上部移行抑制能力の品種差異  
○村中聡、稲永忍（乾燥地研究センター）
14. プラシノライドがダイズの根および根粒着生に及ぼす影響  
○寺門純子（中央農研・学振）・藤原伸介（中央農研）・後藤茂子（東大農）・倉谷亮子（東大農）・米山忠克（東大農）
15. トウモロコシ種子根における内皮カスパー線への発達に対するエチレンの影響  
○松田香織・唐原一郎（富山大・理）
16. ジベレリンとアンシミドールによるエンドウ根の細胞壁タンパクの変動  
○堤竜生・林弥智・谷本英一（名古屋市大院・システム自然科学）
17. 根導管液に含まれるアラビノガラクトタンプロテインの解析  
○星野治子・岩井宏暁・佐藤忍（筑波大・生物）
18. キュウリ切断胚軸の組織癒合に関与する根導管液微量元素の解析  
○朝比奈雅志・牛腸ゆり子・佐藤忍（筑波大・生物）
19. シロイヌナズナの水分屈性突然変異体(*rhy4*, *rhy5*)の特性解析  
○高橋あき子・小林啓恵・柿本洋子・藤井伸治・高橋秀幸（東北大院・生命科学）
20. シロイヌナズナの根端優勢が弱い温度感受性突然変異体 *rot302* にみられるリグニンの過剰蓄積  
○黒羽 剛（筑波大・生物）・岡田清孝（京都大・理）・佐藤忍（筑波大・生物）
21. シロイヌナズナを用いたジーントラップラインにおける根維管束に特異的な遺伝子発現  
○小松悠太・黒羽剛（筑波大・生物）・加藤、田畑（かずさ）・佐藤忍（筑波大・生物）

## 2003年度研究会賞授賞式・受賞講演

座長：矢野勝也（名古屋大学大学院生命農学研究科）

### 【学術功労賞】

- ・阿部 淳 氏（東京大学大学院農学生命科学研究科）  
「イネの根系形成に関する発育形態学的・機能 形態学的研究」

### 【学術特別賞】

- ・馬 建鋒 氏（香川大農学部）  
Jian Feng Ma & Eiichi Takahashi 著「Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan」Elsevier  
(2002) の出版

### 【学術奨励賞】

- ・宮本直子 氏（東京大学・アジア生物資源環境研究センター）  
「植物の根と細胞の水透過性に関する研究」
- ・中野有加 氏（農業技術研究機構・野菜茶業研究所）  
「養液栽培におけるトマト根系の環境応答に関する研究」

## 関連集会

### 【根研究若手の会】

世話人：小田篤（筑波大・生物）

日時：2003年11月16日（日）10時～16時

場所：筑波大学遺伝子実験センター2階セミナー室

関谷 信人（名古屋大院・生命農学）

「作物学の進むべき方向」

小田 篤（筑波大・生物科学）

「遺伝学の応用の可能性」

朝比奈 雅志（筑波大・生物科学）

「ポストゲノム時代の最前線」

藤原 すみれ（筑波大・生物科学）

「シロイヌナズナ花成制御の遺伝学的解析」

## 報告 (第 19 回根研究集会発表要旨)

## 水稻栽培における穂肥が出液速度および出液中の全窒素量に及ぼす影響

境垣内岳雄\*・阿部淳・森田茂紀

東京大学大学院農学生命科学研究科

e-mail: gaichiman@fm. a. u-tokyo. ac. jp

水稻栽培における穂肥は、穎花数の確保や光合成能力の維持増進を意図して行われるものであるが、施肥の時期や量を間違えると無効分げつの増加や過繁茂などの原因となる。そのため、穂肥による窒素の吸収や、植物体内における窒素量の時間的経過を詳細に検討しておくことが、より効果的な穂肥を行うために必要である。そこで本研究では、穂肥施用後の出液速度、出液中の全窒素濃度、SPAD 値の経時的な変化を、ポット実験と水田実験において検討した。

〔材料および方法〕 2002 年に東京大学農学部構内のビニールハウスで、コシヒカリを 1/2000a ワグナーポットで栽培した。基肥として化成肥料(窒素 7%、リン酸 7%、カリ 7%)で 20gN/m<sup>2</sup>を施用した後、移植後 58 日目に穂肥として 10gN/m<sup>2</sup>を施用した穂肥区と、施用しない無穂肥区を設け、施肥後 96 時間目まで両区における出液速度と出液中の全窒素濃度を測定した。出液中の全窒素濃度は、アルカリ性ペルオキシニ硫酸カリウム-紫外線分光光度法で測定した。また、2003 年には東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場の水田において、コシヒカリを栽培した。基肥として化成肥料(窒素 12%、リン酸 18%、カリ 16%)で 6gN/m<sup>2</sup>を施用したほか、移植後 61 日目に穂肥として硫安(窒素 21%)で 2gN/m<sup>2</sup>を施用した。穂肥区と無穂肥区を設け、施肥後 168 時間目まで出液速度、出液中の全窒素濃度、SPAD(最上位展開葉と上から 3 番目の葉)を測定した。また、施肥直前と施肥後 168 時間目に、株を中心とした円柱状の土壌モノリス(直径 15cm×深さ 15cm)に含まれる根の重さと長さも調査した。

〔結果〕 ポット実験の穂肥区においては、施肥後 24 時間目から出液速度が高くなり、無穂肥区との差は施肥後 96 時間目まで拡大し続けた。穂肥区における出液中の全窒素濃度は、施肥後 12 時間目から高くなり、施肥後 24 時間目に最大の約 250ppm まで上昇した後、緩やかに低下を続け、施肥後 96 時間目には約 180ppm となった。一方、無穂肥区ではこの間、出液中の全窒素濃度は明期が約 100ppm、暗期が約 50ppm で一定していた。出液中の全窒素量は全窒素濃度とほぼ同様の推移を示したが、出液速度が増加するため、低下が比較的緩やかであった。水田実験の穂肥区では、施肥後 18 時間目から出液速度が高くなる傾向がみられ、施肥後 24 時間目以降は無穂肥区よりも顕著に高く推移した。穂肥区における出液中の全窒素濃度は、施肥後 6 時間目から高くなり、24 時間後に最大の約 250ppm となった後、低下を続け、施肥後 168 時間目で両区における出液中の全窒素濃度は、ほぼ等しくなった。出液中の全窒素量は、全窒素濃度とほぼ同様の推移を示したが、出液速度の増加のため、低下は緩やかであった。最上位展開葉および上から 3 番目の葉の SPAD 値はいずれも、施肥後 48 時間目以降、穂肥区の方が高く推移した。施肥後 168 時間目における根長および比根長には両区で違いが認められなかった。

〔考察〕 ポット実験と水田実験のいずれの場合も、穂肥の影響は、出液中の全窒素濃度および窒素量、出液速度、SPAD 値という順序で認められ、それぞれの時間的推移の傾向も両実験でほぼ一致していた。さらに、両実験における窒素施肥量が異なるにも係らず、出液中の全窒素濃度の最高値が約 250ppm で一致していたことは、この値が幼穂形成期におけるコシヒカリの窒素吸収の限界値であることを示唆している。また、穂肥の直接の効果は、施肥後 168 時間目にはほとんど認められなくなっており、施肥時期の重要性も示された。穂肥によって出液速度が増加したのは、施肥後比較的短時間であったことを考えると、根系の量的な発達はあまり関係なく、単位根量当たりの生理活性が高くなったことが原因であると考えられた。

〔謝辞〕 附属農場における水稻の栽培管理については、鷲頭登、市川健一郎、山崎千夏、中田静恵、木村宏の各技術官に多大なご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

## 異なる施肥条件による登熟期の水稻の出液速度と登熟の関連について

下田代智英・五位塚のぞみ・松元里志・佐々木修 (鹿児島大学農学部)

(連絡先: 鹿児島市郡元 1-21-24 tel 099-285-8540 fax 099-285-8541

E-mail shimotas@farm.agri.kagoshima-u.ac.jp)

西南暖地では根系活力が比較的早い時期から低下し、登熟に悪影響を及ぼすという指摘がなされてきた。しかしながら、こうした西南暖地の水稻の根系活力を定量的に捉えた研究は数少なく、特に根系全体を対象としたものはほとんどない。本研究では、堆肥と化学肥料の組合せた施肥条件により根系の発達を異にする水稻の生育期間中の根系活力を出液速度により評価するとともに、収量構成要素との関連について検討した。

材料と方法: 試験は 2002 年に鹿児島大学附属農場 (鹿児島市) の砂壤土 (シラス灰土) の水田で品種ヒノヒカリを供試し、牛糞堆肥+緩効性化学肥料 (以下、牛糞+化学)、バーク堆肥+化学 (バーク+化学)、化学単独 (化学)、牛糞堆肥単独 (牛糞) 区の 4 処理区を設けた。生育期間中に生育調査、収穫時には収量調査を行い、最高分けつ期・幼穂形成期・出穂期・乳熟期・黄熟期には、各処理区から平均茎数の 8 株を選び、出液速度の測定を行った。さらに、出液速度測定の際にサンプリングした地上部について、乾物重、葉面積を測定し生長解析を、また部位別に窒素含量の測定を行った。

結果と考察: 牛糞堆肥単独区は草丈、茎数ともに有意に低くなり、有効茎数はバーク+化学区、牛糞+化学区、化学区、牛糞区の順となった。最高分けつ期は、牛糞+化学区、バーク+化学区、化学区が 7 月 23 日であるのに対し、牛糞区は 7 月 29 日となり遅延した。精粗収量はそれぞれ牛糞+化学、バーク+化学が多く、ついで、化学、牛糞が最も少なかった。収量構成要素についてみると、バーク+化学区の  $m^2$  当たりの粒数が 42000 粒を超え、牛糞+化学区、化学区は同程度、牛糞区は少なくなった。登熟歩合は牛糞区、牛糞+化学区で高く、バーク+化学区、化学区で低くなった。総根長についてみると、バーク+化学区と化学区では減数分裂期に最大となったのに対し、牛糞区では出穂期に最大となり、比根長は牛糞区が有意に小さかった。最高分けつ期から登熟期における株当たりの出液速度は、いずれの処理区でも出穂の 1 週間前の穂孕み期にピークとなり、その後減少する傾向が認められた。また、処理間差は出穂期以降大きくなり、登熟期間中の出液速度は牛糞区、牛糞+化学区、化学区、バーク+化学区の順となった。出液速度のピークはこれまでに報告されている他の地域と比較して若干早かった。これは従来からいわれている早期からの根系活力の低下を示していると考えられた。また、処理間差は根系が老化の過程に入る登熟期で大きくなったことは注目に値する。栄養成長期においては出液速度と根量が良く対応することが知られているが、この関係は登熟期以降には当てはまらないことを示唆している。すなわち、出液速度の低下の過程には質的な変化も伴っていると考えられた。登熟と根系の活力の関係を検討するにあたっては、シンク容量が大きく影響することが考えられる。そこで、シンク容量当りの出液速度を求め、登熟歩合との関連を見てみると、両者の間には高い相関関係が認められた。また、物質生産から見ると、登熟歩合の向上は登熟期間中の NAR が高く維持されたこと、あるいはシンク能が高く維持された結果であった。これらの NAR の維持には茎葉部の受光体勢とともに、根系活力が高く維持されたことも貢献していると考えられた。その際の根系の貢献は、窒素吸収を通じた葉身の窒素濃度の維持ではなく、登熟期における日中の蒸発散と吸水のバランスを維持し、日中の光合成低下を緩和したためであると推察された。

## オオムギ幼根の水透過性に関連する水チャネルの夜間における発現

且原真木、小塩和輝、柴坂三根夫、笠毛邦弘 岡山大学資源生物科学研究所

(〒710-0046 倉敷市中央2丁目20-1, e-mail: kmaki@rib.okayama-u.ac.jp)

水吸収は植物にとってもっとも基本的機能の一つである。根で吸収される水は、日中は蒸散によって生じる駆動力により地上部へ運ばれる。夜間においては、特に若い植物では細胞伸長を続けるために水の供給が必要であるが、夜は蒸散がないため、水吸収・地上部への移行には蒸散以外の因子について考えなければならない。しかし夜間における水の吸収・移行に関する研究は少なく、分子機構についてはほとんど研究されていない。

植物組織内での水の移動経路として、古くから細胞外を水が移動するアポプラスト経路と、生体膜を横切って水が流れるシンプラスト経路(最近で、cell-to-cell 経路と呼ばれることもある)が提唱されている。蒸散による駆動力が大きい場合、アポプラスト経路の水輸送の割合が多くなり、一方夜間においてはシンプラスト経路の重要性が高くなると考えられている(Tyerman et al. 1999)。近年の研究から、生体膜に存在して水の膜透過を担っている水チャネル(タンパクとしてはアクアポリンと呼ばれる)がシンプラスト経路の水輸送の制御因子として重要と考えられるようになってきているので、我々は夜間における水チャネルの発現を根の水吸収との関連において研究を行った。

実験は播種後6日目に、明期14時間暗期10時間、25度の人工気象器に移して水耕栽培したオオムギで行った。実験期間中オオムギ幼植物の根と葉は、明期、暗期を問わず成長(伸長)を続けていた。明暗周期を2回繰り返して環境に適応させた幼植物の根を、3回目の明期開始後から4時間ごとにサンプリングし、根の水透過性( $L_p$ )、オオムギ水チャネル遺伝子 HvPIP2;1 の転写産物および翻訳産物の量を定量した。水透過性は複室浸透法、転写産物量は定量リアルタイムPCR法、タンパク質はウエスタン解析によって調べた。なお、水チャネルは多くの遺伝子ファミリーからなっていて、また原形質膜型と液胞膜型があることも知られている。細胞としての水透過性は、液胞膜型水チャネルよりも、原形質膜型水チャネルによって決まると考えられている。オオムギにおいても複数の水チャネル遺伝子が同定されているが、これまでの研究からオオムギ原形質膜型水チャネルのうち、HvPIP2;1 がオオムギ根細胞の水透過において中心的役割を果たすと考えられた(Katsuhara et al. 2002)。したがって今回水チャネル遺伝子 HvPIP2;1 について調べた。

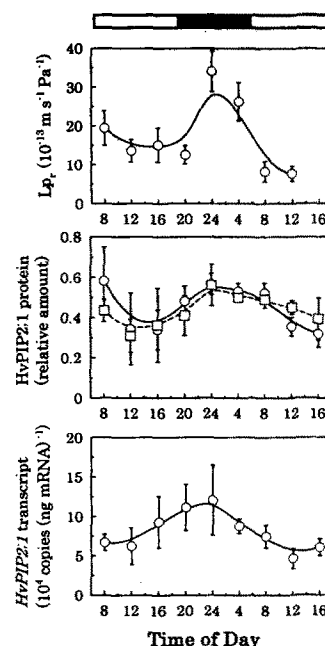
オオムギ幼根の水透過性は昼間低く、夜半に約2倍高くなった。HvPIP2;1 タンパク量の増減も水透過性と同じ傾向を示し、昼間に少なく、夜半に多かった。HvPIP2;1 の転写産物量は午前中から正午にかけて低く、午後には増えはじめ真夜中にもっとも多く検出された。HvPIP2;1 以外のアクアポリンや他の因子も根の水透過性に関係している可能性はあるが、少なくとも部分的には HvPIP2;1 の発現制御がオオムギ幼根の水透過性の制御に関係しており、蒸散がない夜間において水の吸収、地上部への水の供給を確保するために根の水透過性が上昇することに、HvPIP2;1 は寄与していると考えられた(Katsuhara et al. 2003)。

(参考文献)

Tyerman et al. (1999) J. Exp. Bot. 50:1055-1071

Katsuhara et al. (2002) Plant Cell Physiol. 43:885-893

Katsuhara et al. (2003) Soil. Sci. Plant Nutr. 49:(inpress)



## オオムギの水輸送と塩ストレス応答

大塚 岳\*, 且原 真木

岡山大学生物資源科学研究所 (\*連絡先 e-mail: [t-otsuka@rib.okayama-u.ac.jp](mailto:t-otsuka@rib.okayama-u.ac.jp))

近年、地球環境の悪化や農地に適していない灌漑法を用いた作物の栽培などにより、土地の表面に塩が集積し、世界の灌漑農地の約 1/5~1/4 ほどで、塩分集積による収量低下が起こっていると報告され、農地として使えなくなっている土地が増加している。

土壌の可溶性塩分濃度が高いと植物は浸透圧ストレスによって吸水が阻害され、ついで細胞内に進入してきたイオンによって細胞質での代謝が乱されると考えられている。また塩ストレスの二次的な作用として、活性酸素種の発生による、脂質過酸化や核酸の傷害も報告されている。

塩ストレス耐性機構として、グリシンベタインやプロリンなどの適合溶質の蓄積や、液胞への塩の区画化が挙げられる。また、10 年程前に発見された生体膜上に水を選択的に透過させる水チャネルタンパク質・アクアポリンは、単純拡散のみの水透過性に比べて、極めて高い透過性を膜に与え、膜を介した水輸送に大きく関与している。塩ストレスや乾燥ストレスに応答して発現が調節され、ストレス耐性機能に関与しているのではないかとされているアクアポリンが多く報告されている。

そこで、私たちはオオムギ根細胞の水透過性において中心的役割を果たすと考えられているオオムギ水チャネル遺伝子 HvPIP2;1 の過剰発現体・発現抑制体を作ることにより、耐塩性機構における HvPIP2;1 の役割を解析している。

形質転換に適性の高いオオムギ品種・ゴールドプロミスとオオムギのゲノムプロジェクトで主な材料にされたはるな二条、以前より当研究室で使用されていた赤神力の 3 品種で播種後 3 日の幼植物に塩ストレス (0- 300 mM NaCl) を与え、そこから 24 時間、48 時間後の根の相対伸長量で塩感受性を調べた。ゴールドプロミスは他の 2 品種に比べ塩感受性であり、24 時間、48 時間後とも、100 mM NaCl で相対伸長量 50~60%であった。以下ゴールドプロミスを研究材料として研究を進めた。

恒常的に発現するユビキチンプロモーターと、ストレス応答型プロモーターであるシロイズナ由来 r d 29A プロモーター下に、それぞれ HvPIP2;1 のセンス・アンチセンスを組み込んだコンストラクトを作り、アグロバクテリウム法でゴールドプロミスに形質転換させた。今後、塩ストレスを与え、HvPIP2;1 の発現と耐塩性の関係を解析する予定である。

## アーバスキュラー菌根菌はどのようにリン酸を植物へ供給するか？

## —菌糸細胞内微細構造の役割—

齋藤雅典

農業環境技術研究所 化学環境部 (msaito@affrc.go.jp)

植物根に共生するアーバスキュラー菌根菌 (以下、AM 菌) は、根から土壤中へ伸長した菌糸 (外生菌糸) で土壤中のリンを吸収し、菌糸を通して根内に侵入した菌糸 (内生菌糸) にまで輸送し、そこで宿主である植物へリンを供給する機能がある。外生菌糸で吸収されたリン酸は、菌糸細胞内でポリリン酸へと変換され、原形質流動によって、植物根内の菌糸へと運搬されると考えられている。AM 菌は隔壁を有しておらず、菌糸系が一体となった多核単細胞として機能しており、物質が原形質流動によって自由に移動することが可能と考えられている。リン酸輸送がポリリン酸を含む細胞内コンパートメントの原形質流動による移動によって行われるというアイデアは、20年以上も前に提案されている。しかし、このアイデアに対する確固たる証明はいまだなく、菌糸細胞内のどのような器官がリンの運搬に関与しているのか全く解明されていない。そこで、リン輸送に関わる細胞内小器官の役割を解明する一環として、蛍光色素によって細胞内小器官を染色し、その動態をレーザー共焦点顕微鏡によって観察した。

## 方法:

土壌懸濁液で調製した寒天平板の上に約 1cm 四方程度のメンブレンフィルターを並べ、フィルター上に AM 菌 *Gigaspora margarita* の胞子を数個置いてインキュベートとした。数日から 1 週間程度経って胞子から発芽した菌糸を観察に供試した。メンブレンフィルターと寒天平板をサンドイッチした装置で、タマネギへ *G. margarita* を接種して栽培し、数週間後にフィルター上に伸長した外生菌糸を供試した。また、内生菌糸については、根の徒手切片を供した。

液胞を染色するために、液胞内腔に蓄積して蛍光を発する Oregon Green 488 carboxy-DFFDA を、また、中性脂肪を特異的に染色するため BODIPY 493/503 を、酸性コンパートメントを染色するために LysoTracker Red を用いた。それぞれ菌糸試料を蛍光色素溶液に 30 分浸した後、蒸留水で洗浄し、観察を行った。

## 結果と考察:

無染色で観察した菌糸構造: 原形質流動を示す菌糸には、屈折率が高い多数のさまざまな顆粒状器官が存在し、双方向に移動していた。原形質流動を示さない菌糸では、多くの場合、大型の球状液胞様構造が観察された。

管状液胞: Oregon Green でラベルされた菌糸の液胞構造は、他の菌類には例をみないきわめて発達した管状構造を有していた。管状液胞構造はレーザーや UV 照射にきわめて敏感であり、照射によって短時間のうちに球状構造へ変化した。原形質流動を示す細胞には、かならず管状構造が観察された。

脂肪体: BODIPY で染色された  $0.3\mu\text{m}$  から  $3.0\mu\text{m}$  のさまざまな大きさの粒子が観察された。

酸性小胞: 直径約  $0.5\mu\text{m}$  の小胞が LysoTracker で染色され、菌糸中に高密度に分布していた。

脂肪体・酸性小胞は、Oregon Green で染色される管状液胞と独立して存在し、管状液胞をぬうように菌糸中を双方向に移動していた。また、以上いずれの蛍光色素で染色されない小胞も観察された。

これらの細胞内微細器官は、宿主からの炭素輸送、菌糸内でのリン酸輸送等のさまざまな機能を担っているものと考えられる。本講演ではこれら細胞内微細構造のリン酸輸送に関する役割について論議する。

\*本研究は、農業・生研機構基礎研究推進事業によるものであり、久我ゆかり (現・信州大)、齋藤勝晴 (畜産草地研) との共同研究である。



## 微生物産生多糖を利用した植物根への窒素供給

小林 崇良, 滝口 泰之, 平塚 高司, 浅川 大介, 山口 達明

千葉工業大学 工学部 生命環境科

(\*連絡先 e-mail: p06yamag@pf.it-chiba.ac.jp)

## 【目的】

窒素は動植物に必要不可欠な元素であり、窒素不足は農作物の生産性に影響する。しかし、地球上のほとんどの窒素は、不活性の分子性窒素であり、動植物は直接利用することができない。したがって、生産性および品質の向上のために、稲作農業等において環境に影響を与える化学肥料に頼らなければならないのが現状である。一部の高等植物（マメ科植物）では、フラボノイド系の誘発物質を産生し、共生微生物と共生する事で窒素源を補っている。しかし、ほとんどの非共生植物は、共生関係を結ぶことができない。そこで、微生物凝集性多糖を介在させて、非共生植物であるイネ(*Oryza sativa*)に単性窒素固定菌を固着させ擬似的根粒の形成による窒素供給について検討した。

## 【実験】

凝集性多糖を用いて窒素固定菌(*Klebsiella oxytoca* ATCC8724 など)を凝集させ、アセチレン還元法を用いて、ニトロゲナーゼ活性を測定した。また、同条件の凝集体に界面活性剤を添加し溶菌させ、タンパク質の電気泳動を行ないCBB染色した。

植生実験は、コシヒカリ(*Oryza sativa*)を用いた栽培実験を行った。対照(無添加), H12多糖添加, 多糖生産菌株 *K. pneumoniae* H12, 非多糖生産菌株 *K. oxytoca*, H12多糖と2種類の *Klebsiella* 属細菌を添加した計6種(各3プロット)について2週間栽培をおこなった。微生物と植物の関係を確認するために植物根を採取し、オスミウム蒸着後、示査顕微鏡(JSM-6300)を用いて観測した。また、地上部と根に含まれる窒素源は、80%熱エタノールで抽出し含有量を測定した。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の定量は、Cataldo法、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>はニンヒドリン比色法を用いた。

## 【結果および考察】

H12多糖を添加した *K. oxytoca* は、好気性条件下においても窒素固定活性を確認できた。同条件で電気泳動を行なったところ、嫌气的条件に近いバンドが得られた。イネの植生実験の多糖と微生物を添加した試料は、根毛の分化が促進され根に擬似根粒のような複合体が付着していた。また、複合体は菌のみを加えたときよりも伸長、重量および菌数が約1.5倍も増加していた。複合体の形成した植物体中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は、増加していたことから窒素供給効果があったと思われる。0.95 mMの硫酸アンモニウムと同時に添加したときにも、複合体の形成が確認されたことから、減肥料として期待できることが示唆された。

## 根箱法によるラッカセイの根系形成の解析

田島亮介\*・田中丸耕治・森田茂紀・阿部淳

東大院農生命・農場

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

マメ科作物は根粒菌を利用して窒素固定を行うことができるので、効率的に利用すれば持続的作物栽培を推進することができる。そのためには、根粒形成と、根粒形成の場である根系の形成に関する知見が必要であるが、ダイズを除くマメ科作物に関する情報は多くない。そこで本研究では、世界的に重要なマメ科作物であるラッカセイを対象として、根箱法を利用して、まず根系形成について検討した。

材料と方法：ラッカセイ (*Arachis hypogaea* L.) 品種千葉半立を供試し、これを東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場(西東京市)のガラス室内において根箱で栽培した。使用した根箱は、縦 100cm、横 50cm、厚さ約 2cm であり、観察面は透明アクリル板を使用し、観察時以外はアルミ箔で覆い遮光した。根箱の 5ヶ所をボルトで固定してからクレハ園芸培土(N:P:K=0.4:1.5:0.4g/kg)を充填した後、水槽に浸けて十分に給水させてから取り出し 1日静置して自然排水させた。このように準備した5ヶ所の根箱に2003年7月29日に根箱当たり 2粒ずつ播種し、播種後 6日目に1個体とした。灌水は、播種日から1日おきに根箱の土壌表面に約 50ml ずつ行った。播種日以降、観察面のアクリル板にトレーシングペーパーを貼付し、1日おきに異なる色のマーカーを用いて、根をトレースした。播種後 55日目に主根または側根の根端が根箱の底に達したため、根箱を解体して根を丁寧に洗い出し、ルートスキヤナを用いて総根長を測定した。実験終了後、トレーシングペーパーに書かれた根の長さを、マップメジャーを用いて 1mm 単位で測定したほか、主根に沿って根軸 2cm ごとの 1次側根の数も調査した。

結果と考察：播種後、主根が伸長するとともに主根に形成された1次側根が伸長し、順次3次側根まで形成された。実験終了時まで観察面に現れた根の総長は平均 9m であり、洗い出した根系全体のおよそ 24%であった。根系全体の根の伸長速度をみると、いずれの個体も実験期間中に2度のピークが認められた。播種後 10日前後に見られた第1のピークは大きく、播種後 36日前後の第2のピークは緩やかで小さかった。この根長の増加を根の種類別にみると、第1のピークには、主として主根から生じていることが確認できた1次側根の伸長が寄与しており、第2のピークには2次以上の高次側根が寄与していることが分かった。なお、5個体のうち3個体においては播種後 14-18日目に根系全体の伸長が低下したときに、主根の伸長も低下したが、その後また回復した。しかし、残りの2個体では主根の伸長は停止して、その後伸長しなかった。この根系全体の伸長速度が低下した時期は、種子に貯蔵された養分に依存する割合が減少し、独立して栄養を得る時期に対応している可能性がある。また、このとき地上部では展開中であった第5葉の展開はそれ以前のものと比較して遅くなり、子葉節に形成された側芽が急速に発育していたことから、地上部-地下部関係の観点から検討する必要もある。主根の根軸に沿った1次側根の数および長さを解析した結果、主根の伸長速度が低下したときに根端があった部位で、側根形成も最も低くなった。したがって、主根の伸長と側根の形成との間には密接な関連があると考えられる。また、主根の伸長が停止した2個体では、その後、1次側根の伸長が旺盛であり、主根と1次側根との間に補償的な相互関係が認められた。なお、主根の基部に近い部位から形成される1次側根は最終的に長くなり2次側根を形成することも確認できた。以上のことから、ラッカセイの根系形成を土壌中における根の空間配置という視点からみる場合には、主根とこれらの主根の基部側から出現する1次側根が重要であると考えられる。

謝辞：本研究で使用したラッカセイの種子の分譲については、千葉県農業総合研究センター育種研究所畑作物育種研究室の長谷川理成氏、鈴木茂氏、同落花生試験地の岩田義治氏にお世話になった。また、栽培管理については、東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場の秦野茂技術官、久保田浩史技術官、佐々木ちひろ技術官、石山郁江技術官にお世話になった。ここに記して謝意を表する。

## 小麦畑における不耕起処理が土壤窒素発現と窒素吸収・根生育へ及ぼす影響

近藤始彦 (作物研究所) (chokai@naro.affrc.go.jp)

## 1. 目的

稲-小麦・大豆作付けのための田畑輪換システムにおいて、畑期間の透水性向上や土壤有機物の維持のための土壤管理法として不耕起栽培がある。不耕起管理が小麦生育へ及ぼす影響は土壤の養分水分供給能への影響を通じた間接的な要素と小麦根系への直接的な影響の要素が複合して現れると考えられる。そこで本研究では不耕起・耕起下での小麦生育の特徴を土壤窒素の発現と窒素吸収・根生育への影響から調査・解析した。

## 2. 方法

圃場試験は中央農研水田圃場 (鴻巣細粒質灰色低地土(LiC)) において 2001 年冬作に品種バンドウワセを用いて行った。耕起処理として標準耕起区 (18cm 深)、浅耕区 (9cm 深)、不耕起区を設けた。N 施肥量は : N1.0 g m<sup>-2</sup>、N2.8.5 g m<sup>-2</sup> (0+3.2+3.2+2.1), N3.13.5 g m<sup>-2</sup> (5.0+3.2+3.2+2.1)、N4.18.5 g m<sup>-2</sup> (10+3.2+3.2+2.1) とし、各区とも P 3.0 g m<sup>-2</sup>、K 4.7 g m<sup>-2</sup> を施用した。土壤について孔隙分布、無機態窒素量、体積水分率、相対ガス拡散係数(D/D<sub>0</sub>) を経時的に測定した。小麦の由来別窒素吸収量は処理区間のN吸収量差より算出した。

## 3. 結果の概要

不耕起区に比べ耕起区では土壤の孔隙率が増加したが、特にマトリックポテンシャル -0.001MPa (300μm 径) 相当以上の粗孔隙の増加が大きかった。D/D<sub>0</sub> は耕起による土壤孔隙の増加に伴って不耕起区で作期間中低く推移し D/D<sub>0</sub>=0.2 を下回る期間も見られ土壤内への酸素供給が低下することが推定された。土壤の無機態N発現は、生育初期においては 0-40cm 深で耕起によって不耕起に比べ促進されたが、生育中期以降は逆に不耕起区で耕起区より高くなった。これは主に耕起によって土壤Nの無機化が早まった結果と思われるが脱窒活性の低下の関与も想定された。

小麦の土壤N吸収は、生育初期に耕起により大きく促進され不耕起に比較し標準耕および浅耕はそれぞれ 0.6 および 0.4g m<sup>-2</sup> N吸収量を増加させた。また成熟期までには標準耕および浅耕によりN吸収は 2.4 および 0.7g m<sup>-2</sup> 促進された。不耕起下では基肥の利用率も低下していたが、追肥の利用率は耕起下と同等以上であった。収量はN施肥・無施肥下ともに耕起により高まったが、標準耕のN無施肥下での収量は不耕起下の 18.5 g N m<sup>-2</sup> 施肥相当の収量となった。

根重・根長は不耕起区で地上部生育の低下に伴って低下していたが、地上部に比べ低下程度はやや小さかった。特に 0.2mm 径以下の細根の発達はやや低下していた。一方、地上部の <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C 同位体比 (δ<sup>13</sup>C) は、不耕起により生育全期にわたり上昇する傾向が見られた。この傾向はどのN施用区においてもみられることより、気孔伝導度の低下によるものと推定された。

以上のように不耕起管理下で小麦生育は低下したが土壤無機態窒素の発現の遅延・低下がその一因として考えられた。さらに特に生育初期のN吸収能の低下、気孔伝導度の低下については必ずしも可給態N量の変化だけでは説明できず土壤構造・酸素供給能の変化が根系のN・水吸収能などの生理機能へ及ぼす影響もあると推察定された。今回得られた知見は小麦の圃場内、圃場間の土壤窒素肥沃度や生育ムラを耕うん法により是正する手法の開発にも応用されることが期待される。

## セスバニアとクロタラリアのリン回収能とすき込みリン資材としての評価

信田和恵\*・大門弘幸・大江真道・原田二郎・森川利信・石丸恵

(大阪府立大学大学院農学生命科学研究科)

\*e-mail : k-nobuta@plant.osakafu-u.ac.jp

土壤中に多く蓄積する難溶性リン酸を植物によって回収し再利用することは、枯渇が懸念されるリン資源の有効利用の手段のひとつであろう。リン吸収能に優れ、有機物として土壤にすき込まれた際、速やかに分解されて後作物にリンを供給することができる植物種を検索するために、本研究では、地力増強植物やセンチュウ対抗植物としての利用が試みられているセスバニアとクロタラリアのリン吸収能を調査した。また、それらを緑肥として土壤にすき込み、すき込み資材から放出されるリンのエンバクによる回収について検討した。

## 【材料および方法】

2002年6月10日、本学実験圃場に、株間15cm、条間15cmで *Sesbania cannabina* (SC) と *Crotalaria juncea* (CJ) を播種した。10月2日、両種の地上部を刈り取り、細断して一区画 (1.0m×1.5m) あたり生重で SC 5kg, CJ 4kg (SC:P,Nとしてそれぞれ3.9g, 33.9g, CJ:P,Nとして2.9g, 18.1g) をそれぞれすき込み、11月17日にエンバク (*Avena sativa* NC 2469/1 系統) を株間20cm、条間20cmで播種し、無施肥で栽培した。さらに、圃場にすき込んだ試料と同様に調製した地上部を、10月5日に、赤玉土と混合して 1/5000 a ワグナーポットに充填した (ポットあたり生重で 150g を混合)。リン源としていずれのポットにもリン酸カリウム 500mg P を施用し、両植物を緑肥として混合した区、リン酸カリウムまたはフィチン酸をそれぞれ 120mg P 施用した区、リン酸カリウム 500mg P のみ施用した区 (対照区) の計 5 処理区を設けた。窒素肥料については、緑肥混合区以外の処理区に硝酸カリウムを N 成分で 525mg 施用した。11月18日にエンバクを播種し、網室内で栽培した。

## 【結果および考察】

〈セスバニアとクロタラリアの生長とリン吸収〉 両植物ともに旺盛に生育したが、播種後 60 日目 (8月9日) 以降、*S. cannabina* の乾物重は、*C. juncea* より高く推移した。すき込み直前の播種後 110 日目 (9月28日) における地上部あたりの P および N 含有量は、*S. cannabina* の方が多かったが、P 含有率では *C. juncea* の方が高い傾向を示した。

〈圃場におけるすき込み試験〉 播種後 204 日目 (6月9日) のエンバクの地上部乾物重は、SC すき込み区と比べて、CJ すき込み区で著しく大きかった。地上部あたりの P, N 含有量も、CJ 区で著しく大きく、SC 区との差は N 含有量においてより大きかった。

〈ポット試験におけるリン吸収〉 エンバクの生育は初期からフィチン酸区、対照区と比べて両緑肥植物混合区で優り、播種後 149 日目 (4月16日) の個体あたり乾物重は、CJ 混合区が最も高く、次いで SC 混合区、リン酸カリ区、フィチン酸区、対照区の順であった。P 含有量については乾物重と同様の順で高い傾向を示したが、無機態 P だけの施用区であるリン酸カリ区と比べて CJ 区は著しく高いのが特徴的であった。緑肥由来の P 吸収量は、SC 区、CJ 区でそれぞれ個体あたり 120mg, 95mg と試算され、両区における P 吸収量から対照区の P 吸収量を差し引いたものをすき込み資材由来の P であるとする、その利用率は、それぞれ 21% と 35% であった。リン酸カリ区の P 利用率は 19% であり、このことから、速効性の無機態 P と比べて緑肥由来の P の利用率が高いことが示された。一方、N については緑肥由来の利用率は両植物間で異なり、CJ 区の利用率は硝酸カリウムの利用率とほぼ同程度であった。なお、本実験において、SC 区のエンバクの生長が CJ 区よりも劣ったのは、SC は C-N 比の値が著しく大きい茎の割合が高いなど、両植物ですき込んだ部位の割合が異なったためと考えられた。すなわち、すき込み時の両植物の生育はいずれも成熟期に達していたものの、乾物量と P 含有量が CJ よりも大きかった SC の方がより生育が進んだ成熟後期であり、また乾物重における茎の割合が高かった。今後は、より生育ステージの早い段階での両植物の乾物生産特性や P と N を含めた茎葉への分配比などについて明らかにし、緑肥によるリンの回収と再利用についてさらに評価していきたいと考えている。

## 報告 (第 19 回根研究集会発表要旨)

マルチによる根域環境の平準化が低硫酸根肥料を用いた  
養液土耕 (灌水同時施肥) により生じる硫黄欠乏を改善する

中野明正・上原洋一

((独) 農研機構 野菜茶業研究所 果菜研究部)

e-mail: anakano@affrc. go. jp

養液土耕法は、株元に希釈した液肥を灌水と同時に供給する施肥法であり、灌水同時施肥法ともいわれる。本施肥法は、施肥および灌水量を植物の生育状態に合わせて調節できることから、生産物の品質が安定するため、高品質生産物が要求される果菜類を中心に普及が進んでいる。また、根域が点滴部分に集中し効率的な養分吸収が行われるため窒素利用効率が高く、施肥量を削減する環境保全的な施肥技術として評価されている。本施肥法に用いられる肥料は、様々なものが開発されているが、硫酸根を含まない肥料も開発され使用されている。現在、日本の果菜類収穫量の約 6 割は施設栽培の生産物である。このような栽培環境においては、施肥した肥料成分が残留する傾向にあり、近年では硫酸根の集積が生じている場合も多い。したがって、施設生産で普及している養液土耕に使用される液肥もこのような日本の施設生産の土壌環境を反映して、無硫酸根肥料が開発された経緯がある。しかし、隔離床栽培で、このような無硫酸根肥料を使用して栽培を行ったところ、硫黄欠乏が認められた。これは、根域が制限されているため、植物への土壌からの硫黄の給源の範囲が限られ、相対的に硫黄欠乏が出やすい状態になったためと考えられた。一方で、このような場合の土壌の硫酸イオンの濃度分布を調査したところ、ドリップ近傍の硫酸イオンが低く、その周辺で高くなっており、ドリップ灌漑に特有の不均衡なイオン分布が生じ、利用されない硫酸イオンが土壌に存在していた。本研究では、このような無硫酸根肥料を用いた養液土耕栽培における硫黄欠乏の発生機構を解明するとともに、マルチによって根域の水分環境等を平準化することにより硫黄欠乏を改善する方策について検討した。

【材料および方法】 トマト“サターン”の第 1 花房が開花し始めた苗を 2002 年 9 月 20 日に 1/2000a ポットに定植した。中央に定植した苗とポットの縁との中間にアロードリッパーを差し込み、液肥施用および灌水を行った。処理区は無マルチ区とマルチ区の 2 処理で、マルチ区はシルバーマルチでポットの上を覆った。施肥は OK-F-1 を用い、1 日当たりの窒素施用量および灌水量は平均で 100mg および 1L とした。地上部のサンプリング：ほぼ 1 週間に 1 度の頻度で催色期のトマトを収穫し、その都度果実重を測定した。2003 年 1 月 17 日 (定植後 119 日目) を最終収穫日として、未熟果実も全て収穫した。また、果房直上の葉の先端部の小葉について、葉緑素値をデジタル葉緑素計で測定し、その後、茎葉部を収穫した。茎葉部は果実のついていた果柄を中心にし、上に 2 葉下に 1 葉の部分果実に対応する茎葉部として段毎に採取し、茎の切断部は葉と葉の間すなわち節の中央部とした。従って、本研究では第 5 果房まで収穫したので、茎葉部もそれに対応する部位として、1 から 5 段に分けて採取した。それぞれの部位を 80℃ で 3 日間乾燥させ乾物重量を測定し、その後一部を粉砕機で粉砕して分析試料とした。土壌の EC, pH, 植物体の無機イオン等の測定：採取した生土を用いて、乾土：水が 1:5 になるように蒸留水を添加し EC, pH, 植物体および土壌の無機イオン組成を分析した。根はポットから 4 層に分けて洗い出し根長等を測定した。

【結果および考察】 根域が隔離された場合、低硫酸根肥料で葉緑素値の低下を示す硫黄欠乏症状が認められ、マルチをすることによりこれらの症状が緩和された。これは、隔離床栽培では植物への土壌からの硫黄の給源の範囲が限られるため、根域制限しない場合に比べ、硫黄欠乏が出やすくなったためと考えられた。このような硫黄欠乏は、養液土耕を含めたドリップ灌漑により生じる不均衡なイオン分布が原因のひとつと考えられた。すなわち、ドリップ周辺に塩類集積が生じ、根に有効に利用されない養分の集積部位が形成されていた。この塩類集積部位の塩類濃度はマルチ処理により低下した。すなわち、マルチ処理により土壌表層部分の水分およびイオン環境が好適に保たれ、その部分に存在する硫黄を根が有効に利用することができ、結果として硫黄欠乏が改善されたと考えられた。

## 土壌の圧縮は根に対する AI 毒性を軽減する？

矢野勝也\*・川崎通夫

名古屋大学大学院生命農学研究科

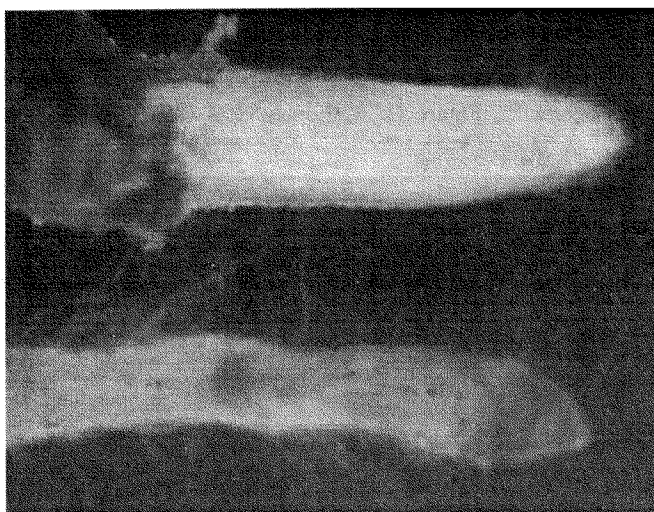
(\*連絡先 e-mail: kyano@agr.nagoya-u.ac.jp)

土壌が酸性化することで溶出する AI は、根端組織に沈着して根の伸長を強く阻害する。水耕条件と比較して、砂耕条件でこの AI ストレスを誘導しようとする、一桁から二桁高い AI 濃度が必要となる現象が報告されている。この違いが生じる原因として、根に対する物理的な接触刺激が関与しているかもしれない。すなわち、物理的な刺激を与えた根では分泌活性が高まり、とくにムシゲルなどの粘液が根端への AI の侵入を抑制している可能性がある。

私たちは、この現象を利用することで、根端への AI 沈着を抑制できるかどうか、その可能性を検討している。具体的には、容積重を増やして酸性土壌を圧縮することで物理刺激を強め、根端に沈着する AI の程度や植物成長に対するストレスが軽減されるのかを調べてみた。

茶園土壌 (pH 4.2) とこれを石灰中和した土壌 (pH 6.5) を供試して、それぞれに非圧縮 ( $0.8 \text{ g ml}^{-1}$ ) あるいは圧縮処理 ( $1.0 \text{ g ml}^{-1}$ ) を施した。そこに、コムギを播種し 28 日間生育させた。その結果、pH 4.2 の酸性土壌では、土壌を圧縮することでコムギの乾物重は約 1.5 倍増加した。一方、pH 6.5 の中和土壌では、圧縮処理の効果は有意ではなかった。さらに、根端への AI 沈着程度を染色してみると、圧縮処理は根端部分への AI 沈着を抑制していることが観察された。同様の効果はオオムギでも観察され、詳細を解析しているところである。

本研究で用いた茶園土壌を分譲していただきました、独立行政法人 農業技術研究機構 金谷茶業拠点の松尾喜義氏に深く感謝いたします。



圧縮土壌

非圧縮土壌

ライムギ根端におけるアルミニウム誘導性タンパク質の解析

古川純・馬建鋒\*

香川大学 農学部

(Tel: 087-898-3137, \*E-mail: maj@ag.kagawa-u.ac.jp)

世界の農耕可能地の30-40%を占める酸性土壌における主要な生育阻害要因はアルミニウム(Al)イオンの過剰害である。一方、植物のAl毒性に対する感受性は多様であり、種類・品種によって大きく異なることが知られている。植物のAl耐性能において有機酸はその中心的な役割を担っている。有機酸による根圏無毒化はAlにより誘導される根端からの有機酸分泌およびAlとのキレート錯体の形成によってなされる。高いAl耐性能を示すライムギはAl処理によりリンゴ酸とクエン酸を分泌するが、クエン酸の分泌に関してはAl処理の開始から分泌までに数時間を要することから何らかの遺伝子発現が関与していると考えられている。誘導される遺伝子の候補として有機酸合成に関わる酵素および分泌に関与するアニオンチャンネルの構成タンパク質が挙げられている。これまで細菌ならびに他品種由来のクエン酸合成酵素を導入した遺伝子組換え植物がいくつか作成されているものの、クエン酸分泌能に大きな改善が見られた事例は報告されていない。本研究ではAlにより誘導されるアニオンチャンネルタンパク質に着目し、その単離と同定を試みた。

材料および方法:供試植物にはライムギ(*Secale cereale* L. cv King)を用いた。湿らせた濾紙上で発芽させた幼植物を0.5mM CaCl<sub>2</sub>溶液で3日間育成した後Al処理を開始した。pH4.5に調整したAlCl<sub>3</sub>溶液による根伸長阻害とクエン酸の分泌量を指標としてAl障害を評価した。クエン酸分泌に関与するタンパク質を同定するために12時間のAl処理を行った試料根端(0-5mm)の非可溶性画分から抽出したタンパク質を用いて二次元電気泳動を行った。Alにより誘導されたタンパク質はLC-MS/MSによるペプチド断片の質量分析を行い、その結果を基に相同タンパク質の検索を行った。

結果および考察:24時間のAl処理による根伸長阻害を測定したところ、20μMではAl無処理区と同等な伸長を保っていたが、50μMのAl処理では40%の阻害率を示していた。また20、50μM処理共にクエン酸の分泌が認められたが分泌量は50μM Al処理の場合が多かった。クエン酸分泌機構の誘導過程を明らかにするためにクエン酸の分泌量を経時的に測定したところ、処理開始後数時間から12時間にかけて分泌量の顕著な上昇が見られた。これらの結果からクエン酸の分泌機構が誘導された12時間目において膜タンパクの抽出を行った。50μMのAl処理では根伸長の阻害も見られることからAlストレスにより誘導されたタンパク質も同時に存在しているものと考えられた。従って本研究では50μMのみで誘導されているタンパク質を除外し、20μMのAl処理で誘導が確認され50μMにおいても同等、もしくは発現量が増加したタンパク質を対象とした。Figure 1に抽出タンパク質の二次元電気泳動図を示す。

Al処理濃度の上昇と共に発現量が増加したタンパク質4種を矢印で示した。Alにより誘導されたタンパク質は可溶性画分を含めると総計39種であり、そのうち着目している非可溶性画分には図示した4種を含め26種が存在していた。これらのタンパク質をLC-MS/MSにより解析したところ、ライムギを含め数種の植物における相同タンパク質がデータベース上に存在していた。現在これら相同タンパク質の配列を基に更なる解析を進めている。

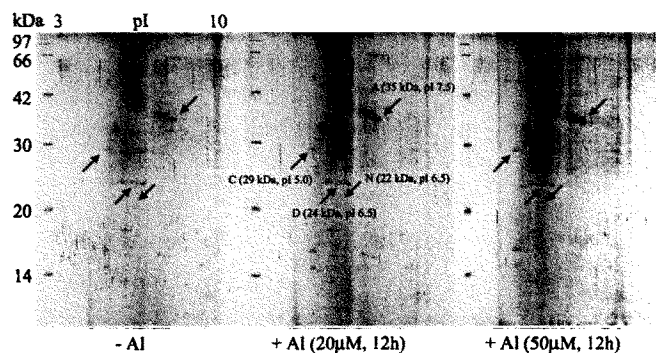


Figure 1 Al-induced membrane-bound proteins separated by 2D electrophoresis



## 報告 (第19回根研究集会発表要旨)

トウモロコシにおける生長や環境変化に伴う核内多倍数性の発生パターンの変化

小川敦史\* 田口奈々子 川島長治 三吉一光

秋田県立大学 生物生産科学科

(連絡先: E-mail: 111111@akita-pu.ac.jp)

体細胞分裂の過程において、細胞分裂が起こらずに DNA 合成だけが繰り返され、核内の DNA 含量は整倍数的に増加する現象が見られる。この現象を核内多倍数性と呼ぶ。フローサイトメトリーは、DNA 量や細胞表面マーカーの解析として医学分野において広く普及した技術であり、育種を中心とした植物分野に対する応用も近年注目されつつある。本研究ではこのフローサイトメトリーを用いて、トウモロコシにおける核内多倍数性の発生パターンに関して、品種や組織による違い、生育環境の変化や加齢段階の差異が与える影響について検討した。

【材料と方法】供試材料としてトウモロコシ (6 品種) を用い、3 日間催芽処理し、1/2 濃度のホグランド水耕液 (pH 6.0) で 4 日間水耕栽培した後、サンプリングを行い、プロイディーアナライザー (Partec 社 PA 型) を用い、DNA 含量の測定を行った。地上部については、各葉位ごとに葉身の先端を約 1 cm<sup>2</sup> 切り取り、測定に用いた。種子根については、根端 1 mm、側根が発生する直前の部位を 1 cm (根端から 8~9 cm)、側根の発生している部位を 1 cm (根端から 16~17 cm) 切り取り、側根については、種子根根端から 16~17 cm 部位に発生したものを切除し、測定に用いた。1 品種 (ホワイトポップ) については移植後 10 日間栽培し、同様に葉身および根系のサンプリングを行い、DNA 含量の測定を行った。さらに、播種後 3 日目に、ポリエチレングリコールを用いた 3 段階の浸透圧ストレス処理 (-0.21 MPa, -0.41 MPa, -0.89 MPa)、3 段階の NaCl 処理 (50 mM, 100 mM, 500 mM)、およびアブシジン酸処理 (1 ppm) を行い、1 日後に同様にサンプリングを行い、DNA 量の測定を行った。また移植後 4 日目および 10 日目に、最上位葉および種子根根端から 8~9 cm 部位をサンプリングし、薄片切片を作成し、細胞サイズを測定し、細胞サイズと核内多倍数性の関係について検討した。

【結果と考察】地上部および根系において、核内多倍数性の発生が認められた。6 品種間の核内多倍数性の発生頻度を比較すると、2C から 16C を示す核の割合は、それぞれの品種の地上部および根系において異なっていた。根系では、4C と 8C の割合に大きな変化が認められ、地上部では 2C と 4C の割合に大きな変化が見られ 8C は同様の割合で検出された。組織の加齢に伴う核内多倍数性の発生頻度を比較すると、地上部では加齢の進んだ葉位ほど、種子根では加齢の進んだ基部側ほど高い倍数性レベルを示した。一方、植物体の加齢に伴う核内多倍数性の発生頻度を比較するために、移植後 4 日目と 10 日目の同じ葉位および種子根根端からの距離が同じ部位において発生頻度を比較すると、地下部では加齢の進んだ移植後 10 日目の植物体の方が高い倍数性レベルを示したのに対し、地上部では若い移植後 4 日目の植物体が高い倍数性レベルを示した。この時、両植物の地上部および地下部において、細胞の大きさに有意な差は認められなかった。根系では、浸透圧ストレス処理によって発生頻度に変化は認められなかったが、塩ストレス処理によって倍数性の発生頻度は増加した。一方地上部では、浸透圧ストレス処理および塩ストレス処理によって倍数性の発生頻度は低下した。同様にアブシジン酸処理によっても、根系では発生頻度は増加、地上部では低下し、これは植物体の加齢に伴う変化と一致した。本研究の結果より、フローサイトメトリーを用いた倍数性の比較検討が、加齢の進行やストレスに対する細胞学的反応を評価する上で、有効な手段である可能性が示唆された。



**毛状根培養系を利用した遺伝子機能解析 ～毛状根培養系を使ってみませんか？**

關 光、中嶋千晴、吉田茂男、○村中俊哉

理化学研究所・植物科学研究センター

(Email: muranaka@postman.riken.jp, FAX: 045-503-9650)

植物には、医薬、工業原料、食品添加物などに利用できるさまざまな有用な二次代謝産物が含まれている。植物の二次代謝産物は、多くの場合、根、葉、花などの組織・器官特異的に、あるいは生長のある段階に特異的に合成、蓄積されるなど、植物分化・生長と密接に関係している。特に、植物の根には、有用二次代謝産物が多く含まれている。たとえば、朝鮮人参（ジンセノサイド）、甘草（グリチルリチン）、ロート根（トロパンアルカロイド）などの生薬はいずれも、「根」である。

一方、植物に土壌細菌アグロバクテリウム・リゾゲネスを接種することにより毛状根が誘発される。毛状根は増殖速度が速く、大量培養することができる。また、菌が持つ Ri プラスミドが植物ゲノムに組み込まれるのと同時に、外来遺伝子を導入することができる。しかも毛状根の誘発が、菌が感染した各々の細胞で独立に起こるイベントであるならば、誘発された一本一本の根はそれぞれ異なる「毛状根クローン」であると考えられる。すなわち、アグロバクテリウム・リゾゲネスを利用した形質転換は、外来遺伝子が導入された組換え植物根を迅速かつ多数得ることができる優れた手段であると言える。

そこでわたくしたちは、毛状根培養系のこのようなメリットに着目して、遺伝子機能解析およびメタボリックエンジニアリングに向けた基盤技術開発を目的に研究を行っている。

有用な遺伝子をスクリーニングするためには、多数の組換え体を扱うことが必須条件である。わたくしたちは、全ゲノム配列が決定されたモデル植物シロイヌナズナについて、高い効率で組換え毛状根を誘発する技術を開発した。さらに、「毛状根アクティベーションタギングベクター」を構築し、二次代謝産物の生産制御に関わる有用遺伝子単離に向けた研究を行っている。

また、私たちは、毛状根に適した遺伝子高発現ベクター、および RNAi を用いた遺伝子発現抑制用ベクターを構築した。これらのベクターを用いて、必要な遺伝子を高発現させる、あるいは逆に不要な遺伝子発現を抑制させることにより、植物の根が本来生産している二次代謝産物を基に、より生理活性の高い物質、あるいは、より高価な物質へと変換できることが期待される。

現在、私たちが開発した毛状根用ベクターの有効性をいろいろな植物材料で試したいと考えています。本培養系は、有用物質生産制御研究に止まらず、根における重金属、塩、高温・低温などのストレス耐性、センチュウ耐性などの研究などへの利用可能性があります。毛状根培養系に興味のある方は、muranaka@postman.riken.jp にご一報をお願いいたします。

薬用植物カンゾウ *Glycyrrhiza uralensis* における効果的な毛状根誘導法について

高上馬希重, 中嶋千晴, 關光, 吉田茂男, 村中俊哉

独立行政法人理化学研究所・植物科学研究センター

(〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 1-7-22)

カンゾウ (*Glycyrrhiza uralensis* Fish.) はマメ科の多年性草本植物である。その地下部の根および走出茎 (ストロン) は漢方原料として最も重要なものの一つであり、世界的にも薬用に広く用いられている。近年では抗 HIV 活性やアトピー性疾患抑制の作用があるなどで注目されている。また一方で甘味料や菓子、タバコのフレーバーの原料としても世界的に需要が高い。その産地は中国、旧ソ連諸国、トルコなどの半乾燥地帯である。従来までの野生品の採取や粗放的栽培による生産には限度があり、生産地域の砂漠化による環境悪化なども起因して資源の枯渇や品質の低下が問題となっている。そこで我々は、有用物質生産ならびに育種利用を目的として土壌細菌 *Agrobacterium rhizogenes* によるカンゾウ毛状根誘導に着手した。カンゾウでの従来の毛状根誘導方法は、ごく若い発芽実生への *A.rhizogenes* の直接感染によってのみである<sup>1,2)</sup>。しかしながらこの方法では、①形質転換していない元の植物体が残せず毛状根との比較対照が得られない、②同一植物個体由来の多数の毛状根クローンを得られないためアクティベーションタギング解析が不可能である、などの欠点があった。この問題を解決するため培養植物材料への感染による毛状根誘導を試みた。

我々はすでに培養ストロンの形成、増殖による組織培養系を確立している<sup>3,4)</sup>。この培養ストロンの若い組織に、外来遺伝子導入の指標としてオワンクラゲ由来の緑色蛍光タンパク質である GFP (Green Fluorescent Protein) 遺伝子 sGFP (S65T)<sup>5)</sup> を組み込んだ発現ベクターを持つ *A.rhizogenes* ATCC15834 株を感染させた。数週間後、感染培養ストロンから不定根が多数誘導された。蛍光実体顕微鏡を用いた観察により、誘導された一部の不定根で緑色蛍光が確認され、外来遺伝子が毛状根内で発現していることが確認された。

本研究の結果、培養植物体から毛状根を多数誘導する方法が確立された。さらに GFP を指標とすることで容易に形質転換組織をスクリーニングすることが可能となり、効果的な外来遺伝子導入法が確立された。

1) Saito K. et al., *Plant Cell Reports*, (1990)2) Toivonen L. et al., *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, (1995)

3) 高上馬ら, 第21回日本植物細胞分子生物学会 (2003)

4) 高上馬ら, 第50回日本生薬学会 (2003)

5) Niwa Y. et al., *Plant J.*, (1999)

シロイヌナズナにおける水分屈性突然変異体 (*rhy1*, *rhy2*, *rhy3*) の特性解析と  
突然変異遺伝子のマッピング

小林 啓恵, 柿本 洋子, 藤井 伸治, 高橋 秀幸  
東北大学大学院 生命科学研究科

(TEL: 022-217-5714, FAX: 022-723-8218, E-mail: koba@ige.tohoku.ac.jp)

根は、水分勾配を感受して水分の多い方へ屈曲成長する。この反応は水分屈性と呼ばれ、重力屈性や光屈性等とともに根の成長方向を制御している。これまで、生理学的な解析によって、水分屈性と重力屈性が相互作用すること、水分屈性のための刺激受容細胞が根冠に存在していること、さらに、水分屈性にカルシウム、オーキシン、アブシジン酸が関与することなどが明らかにされてきた。しかし、水分屈性の発現機構に関する分子生物学的な解析は進んでいない。

そこでわれわれは、水分屈性の分子機構を解明するために、モデル植物であるシロイヌナズナの水分屈性実験系を確立し、水分屈性の異常な突然変異体 14 系統を単離した。それらの水分屈性突然変異体を *root hydrotropism (rhy)* と命名し、本研究では、*rhy1*, *rhy2*, *rhy3* について水分屈性、重力屈性、光屈性、波形成長等の特性を解析するとともに、*rhy1* に着目して変異遺伝子のマッピングを行った。その結果、*rhy1* は、水分勾配に応答せず、水分屈性を全く示さなかった。一方で、*rhy1* の重力屈性、光屈性、波形成長は野生型と同様に正常であった。この水分屈性特異的な突然変異は、単一劣性遺伝子に起因し、それが第二染色体長腕に座乗することが明らかになった。*rhy2* の水分屈性は、野生型に比較して低下していた。また *rhy2* は、正常な重力屈性と光屈性を示したが、野生型に比較して、不規則で緩やかな波形成長を示す突然変異体であった。*rhy3* は、水分屈性の低下に加えて、重力屈性や光屈性も低下した突然変異体であった。また *rhy3* は、水分屈性の発現にともなうコルメラ細胞中アミロプラストの消失がより迅速に生じる突然変異体であることが明らかになった。これらの結果から、水分屈性独自のシグナル伝達系が存在すること、水分屈性の屈曲と波形成長の波形の大きさに相関があることが示唆された。

現在は、変異遺伝子を同定するためにマッピングを継続するとともに、水分屈性突然変異体間の相補性検定、水分屈性突然変異体とその他の成長運動突然変異体を用いて、それぞれの上位性検定を行っている。

## コムギとトウモロコシの初生種子根の切除が その他の種子根の側根発育に及ぼす影響

田中丸耕治\*<sup>1</sup>・森田茂紀<sup>1</sup>・阿部淳<sup>1</sup>・稲永忍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京大学大学院農学生命科学研究科, <sup>2</sup>鳥取大学乾燥地研究センター

\*連絡先 marco@fm.a.u.tokyo.ac.jp

植物の根による養水分の吸収にとって、側根が大きな役割を果たしていると考えられる。本研究では、植物体内の環境の変化が側根形成に及ぼす影響を検討する一つの手立てとして初生種子根を切除し、それがその他の種子根における側根の形成や節根の発育にどのような影響を及ぼすかについて解析した。

### 材料と方法

東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場内のビニールハウスにおいて、コムギ(品種農林 61号)、トウモロコシ(デントコーン品種 KD777)をポット栽培した。すなわち、深底型 1/5000a ワグナーポット(直径約 15cm×深さ約 30cm)にクレハ園芸用培土 (N:0.4g, P:1.9g, K:0.6g, Mg:0.2g /kg) を充填し、約 3 日間催芽し数本の種子根が出揃ったトウモロコシあるいはコムギの種子を、1ポット当たり 1 粒播種した。対照区のほか、初生種子根を切除したのちに播種した断根区を設定した。播種後、約 1 週間の間、2 日おきに根系全体を丁寧に採取し、70%アルコールで保存した。後日、種子根の根軸を基部側から 1cm ごとに切り分け、1 次側根の数と個々の 1 次側根の長さを測定した。

### 結果と考察

1. コムギ 初生種子根を切除しても、その後に出現伸長するその他の種子根の数および根軸長は、断根区と対照区でほとんど同じであった。そこで、とくに初生種子根に続いて出現する 2 本の種子根に着目して検討した。その結果、1 次側根の数および平均の長さのいずれも、対照区に比較して断根区で大きい傾向が見られた。次に、両区における 1 次側根の平均長における差について詳細に検討したところ、断根区では短い 1 次側根が減る一方で長い 1 次側根が増えていることがわかった。以上のように、コムギで初生種子根を切除すると、引き続いて出現・伸長する種子根の根軸長は変わらないが、1 次側根の数や長さが補償的に増加することが分かった。なお、節根の数と長さは、断根区と対照区で同程度であった。

2. トウモロコシ 播種後 4 日目の時点では、初生種子根以外の根軸の長さ、1 次側根の数と長さは、対照区より断根区の方が多傾向が認められたが、その後は 1 次側根の数では断根区で高いものの、根軸の長さ、1 次側根の長さには断根区と対照区の間で差は認められなかった。トウモロコシではコムギに比べて種子根や節根の数が多く、また節根の生育も早いため、初生種子根を切除した影響が現われにくかったのではないかと考えられる。

以上のように、初生種子根の切除処理に対して、コムギではその他の種子根における側根の発育が促進されるという形で補償的な反応が認められたが、トウモロコシではコムギに比べ節根の伸長が早いため、根の伸長の補償作用は生育のごく初期でのみ認められた。

謝辞：材料として用いたコムギおよびトウモロコシの栽培管理は、東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場の秦野茂、久保田浩史、佐々木ちひろ、石山郁江の各技術官にお世話になった。ここに記して謝意を表す。

## 圃場栽培したトウモロコシおよびソルガムの節根の伸長方向と根冠の形態

伊藤 香織<sup>1\*</sup>・森田 茂紀<sup>1</sup>・阿部 淳<sup>1</sup>・稲永 忍<sup>2</sup>

1) 東京大学大学院農学生命科学研究科 2) 鳥取大学乾燥地研究センター

(\*E-mail: [k-ito@fm.a.u-tokyo.ac.jp](mailto:k-ito@fm.a.u-tokyo.ac.jp))

ひげ根型根系の形態を規定している重要な要因の一つは、個々の節根の伸長方向である。節根は傾斜重力屈性を示し、様々な方向に伸長しているが、その伸長方向が決定するメカニズムは未だ明らかでない。昨年度の研究では、トウモロコシの節根の伸長方向が出現する節位によって異なること、また、茎から出現した直後における根の伸長に伴う伸長方向の変化は、根冠のコルメラ細胞内にあるアミロプラストの大きさと密接に関係していることを明らかにした。今年度は、圃場栽培したトウモロコシにソルガムを加え、節根の出現直後における伸長方向の変化と根冠形態との関係についてさらに検討した。

【材料と方法】東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場（東京都西東京市）で慣行栽培したトウモロコシ（品種：KD720）とソルガム（品種：スーパーシュガーソルゴー）を材料として用いた。2003年5月13日に播種し、トウモロコシは7月14日から8月4日まで計9回、ソルガムは7月16日から8月14日まで計15回、根系の基部を掘り取り、伸長中の節根の出現節位（トウモロコシは第4～9節、ソルガムは第7～10節）を同定するとともに、根長、根端の直径および伸長角度を測定した。また、採取した根端の縦断切片を作成した後、デジタルHFマイクロスコープ（KEYENCE, VH8000）を用いて根冠の長さおよび幅を測定した。

【結果と考察】トウモロコシおよびソルガムの節根の伸長方向については、根端と基部とを結ぶ線が水平方向とのなす角度と、根端部分の伸長角度との間にきわめて密接な正の相関関係が認められたので、以下は根端の伸長角度で議論する。トウモロコシおよびソルガムのいずれの場合も、節根は茎から出現した後、伸長に伴って伸長角度が下向きに変化していたが、その様相は節位によって異なる傾向を示した。トウモロコシでは第5・6節根、ソルガムでは第8節根において、茎から出現した後の鉛直方向への屈曲が特に顕著であった。トウモロコシとソルガムのいずれの節根も、伸長に伴って根端直径が減少していた。また、根の伸長に伴って根冠の幅も減少していたが、根冠の長さは逆に増加している場合があった。そこで、根冠の形態の変化を検討するために、根の伸長に伴う、根冠の幅/根端直径と根冠の長さ/根端直径についての推移をみると、前者は変化がなかったのに対して、後者は根が長くなるとともに増加した。そこで、根冠の長さ/根端直径と伸長角度との関係を見ると、両者の間に有意な正の相関関係が認められた。また、ソルガムにおいても同様の傾向が認められた。

以上のように、トウモロコシ・ソルガムの節根は茎から出現した後に伸長方向を変化させ、一般に鉛直方向に屈曲していくが、根端の伸長角度が大きくなるのに対応して、根端の直径に対する根冠の長さの比率が大きくなっていることが分かった。したがって、根端の伸長方向の変化には、根の直径と根冠の比率が関係していると考えられ、コルメラの長さの増加や、それに伴うアミロプラストの増加によって重力感受や、生長調節物質の転流量が変化している可能性が考えられる。

【謝辞】本研究の遂行にあたり栽培管理をして頂いた附属農場の秦野茂、石山郁江、久保田浩史、佐々木ちひろの各技術官には、ここに記して謝意を表する。

## 寒天溶液を用いた低酸素処理に強いコムギ品種の根の特徴

小柳敦史・宮地朋子・小林浩幸 (東北農業研究センター)

oyanagi@affrc.go.jp

近年、我が国では水田転換畑におけるコムギの栽培が増え、各地で湿害の発生が問題となっている。コムギの耐湿性の品種間差異については、これまでも多くの研究が行われてきたが、再現性の高い結果は得られていない。これは処理溶液の溶存酸素濃度を低い値で一定に保つことが困難であったためと考えられる。ところが最近、水耕液に寒天を 0.1%溶かすことにより溶液中の酸素の流動性を抑え、低い溶存酸素濃度を維持する方法が開発された。村中・小柳 (根の研究, 2002) が、この方法により砂耕法で国内外の 30 品種の幼植物を用いて検定した結果、生育初期の低酸素処理による生育阻害程度には品種間差異が認められ、ブラジルの品種 BR 8 の低酸素耐性が強いことが明らかになった。そこで今回は、まず土耕条件で生育中期に低酸素処理を行った場合にも BR 8 が耐性を示すかどうかを調べ、つぎに水耕条件で低酸素処理が BR 8 の節根の生長に及ぼす影響を調べた。

## 【材料と方法】

1. BR 8 の低酸素耐性 (土耕実験): 国内外のコムギ 16 品種を供試した。2002 年 12 月 19 日に縦 5 cm, 横 15 cm, 高さ 14 cm の直方体のポットに 1 粒ずつ播種した。ポットには下層 3 cm に一定量の肥料を含む土壌 (園芸培土) を入れ、その上に細粒の鹿沼土 (芝の目土) をつめた。播種後、網室およびガラス温室で養成し、2003 年 2 月 1 日に 20℃ の自然光型人工気象室に移し、窒素ガスを吹き込んだ 0.1% の寒天溶液により水位 +1 cm で湛水し、20 日間、根部を低酸素処理した。対照区は適宜、十分灌水した。反復は 3 とした。
2. 低酸素処理が節根に与える影響 (水耕実験): 耐性が強い BR 8 と弱い Red Chief の 2 品種を供試した。2003 年 9 月 12 日に水耕液に浮べた発砲スチロールの板に発芽種子を移植した。水耕液はハイポネックス 1000 倍溶液とし、約 3 日ごとに取替えた。25℃ の自然光型人工気象室内で生育させ、9 月 19 日から 1 週間、処理を行った。処理区は 0.1% の寒天溶液を含む水耕液に浮かべて静置した。一方、対照区は水耕液に通気を継続した。反復は 18~23 個体とした。

## 【結果と考察】

1. BR 8 の低酸素耐性 (土耕実験): 生育ステージは処理開始時が 5 葉期、終了時が節間伸長期から止葉抽出期であった。処理終了時の個体あたりの地上部生重は供試品種の平均で、それぞれ対照区が  $6.55 \pm 1.35$  g, 処理区が  $3.15 \pm 0.66$  g であり、低酸素処理により生重は 48.1% に低下した。BR 8 の処理個体の生重は 16 品種の中で最大であった。また、対照区比は 60.1% で 16 品種中 2 番目に大きい値を示した。このように、BR 8 は前報の砂耕を用いた生育初期における実験結果と同様、土耕を用いた生育中期の処理においても根部の低酸素処理に強いことが確認された。
2. 低酸素処理が節根に与える影響 (水耕実験): 処理終了時の地上部生重の対照区比は、BR 8 が 63.3%, Red Chief は 58.8% であり、その差は小さかったものの、品種と処理の交互作用が有意であったことから、BR 8 のほうが低酸素処理に強いといえた。個体あたりの節根数は両品種とも処理により増加したが、その増加の程度は BR 8 のほうが大きかった。また、個体あたりの節根の総延長は Red Chief では処理により減少したが、BR 8 では大きく増加した。

以上のことから、品種 BR 8 は土耕条件の生育中期においても根部の低酸素ストレスに対する耐性が強いことが確認され、その原因のひとつに低酸素条件に適応的な節根の増加が考えられた。

異なる土壌水分条件によるトウモロコシの根系構造の変化が  
水利用効率の及ぼす影響

地頭所邦展・下田代智英・佐々木修 (鹿児島大学農学部)

(連絡先: 鹿児島市郡元 1-21-24 tel 099-285-8540 fax 099-285-8541)

植物は、乾燥条件に対する適応戦略として、土壌水分の不足を感知し、より深い根系を形成して乾燥を回避しようとする場合がある。こうした根系分布の可塑性には根系構造が深く関わっている。このため、乾燥条件によって引き起こされる側根の分枝程度、節根の伸長角度や伸長量の変化などを明らかにすることは、根系制御の基礎となり、乾燥条件下における作物の増収や生産安定につながると期待される。これまでの研究により、乾燥条件下では根は、節根の伸長角度が大きくなり、より深い根系分布へと変化することがわかった。そこで本研究では、乾燥条件による根系分布の変化が植物体の水分吸収に及ぼす影響について検討した。

【材料及び方法】 デントコーン (スノーデント 135V) を供試し、バスケット法を用いて、乾燥処理による節根の伸長角度の変化を測定するとともに、重量法によって水利用効率を調査した。乾燥処理をかける期間によって以下の5つの処理区を設けた。播種後7日目から49日目まで乾燥処理をかける連続乾燥区、播種後7日目から28日目まで乾燥処理をかける前期乾燥区、播種後28日目から49日目まで乾燥処理をかける後期乾燥区、乾燥処理をかけない対照区、1つのポットの中央にアクリル製の仕切り板を入れ分割し、1つのポットで乾燥区と湿潤区を設ける分割乾燥区とした。乾燥処理は土壌含水率を2%、湿潤処理は土壌含水率を10%とした。また、土面蒸発量を測定するため、それぞれの処理区と土壌含水率を同じにしたブランクのポットを用意した。

【結果と考察】 本実験における生育ならびに根系構造についての結果は、これまでのものとほぼ一致した。すなわち、乾燥処理期間中にはトウモロコシの生長が抑制された。一方、28日目に乾燥処理を停止し湿潤状態に戻した前期乾燥区では、乾燥処理を停止したあと急激な生長回復が認められた。また節根の伸長角度は、前期に乾燥処理をかけた連続乾燥区と前期乾燥区では、第2、3節で明らかに対照区より大きい角度を示し、節根が生育初期から、より深く伸長することが明らかになった。また、後期に乾燥処理をかけた後期乾燥区では、対照区と比較して、第5節で節根の伸長角度が大きくなり、より深い根系を形成していた。すなわち、連続乾燥区・前期乾燥区・後期乾燥区はその形成過程は異なるにしても、いずれも対照区よりも深い根系を形成したといえた。次に、吸水と乾物生産の関係について検討するため水利用効率をみると、いずれの処理区においても全水消費に対する土面蒸発量の割合が高いことがわかった。そこで、土面蒸発量を除いた蒸散量あたりの乾物生産量 (蒸散効率) を求めた。後期の処理期間 (播種後29日目から49日目まで) の蒸散効率についてみると、連続乾燥区・前期乾燥区・後期乾燥区で高く、分割乾燥区・対照区で低くなった。ここで、土壌水分条件は連続乾燥区・後期乾燥区は乾燥条件、前期乾燥区・対照区は湿潤条件であり、蒸散効率が土壌水分条件の影響を受けているとは考えにくかった。次に、根系構造について考えてみると、蒸散効率の高かった3つの処理区は、前述のようにいずれも深い根系を持つものであった。このことから、乾燥処理によってより深く分布した根系が、水分吸収に有利に働き、効率よく乾物生産を行なったのではないかと考えられた。

## FACE 条件下における水稻根系の形態および生理的活性

境垣内岳雄<sup>1\*</sup>・森田茂紀<sup>1</sup>・阿部淳<sup>1</sup>・小林和彦<sup>1</sup>・岡田益己<sup>2</sup>

1. 東京大学大学院農学生命科学研究科、2. 東北農業研究センター

e-mail: gaichiman@fm. a. u-tokyo. ac. jp

現在、大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度は上昇を続けているため、将来的に予想される高濃度 CO<sub>2</sub> 条件下において作物の生育や収量がどうなるかを予測しておく必要がある。そこで、岩手県岩手郡雫石町において、水稻を対象にした FACE (Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment) プロジェクトが行われている。著者らはこのプロジェクトに参加し、水稻根系の形態および生理的活性に関する調査を行ったので、2003 年度の結果について報告する。

**材料と方法** 実験サイトには、FACE 区 (ambient+200ppm) と ambient 区 (対照区) が、それぞれ 4 反復設けられているが、いずれのプロットも、耕種概要は以下のとおりである。すなわち、水稻品種アキタコマチの苗を 2003 年 5 月 21 日に栽植密度 19.0/m<sup>2</sup>、1 株 3 個体で移植した。窒素肥料として、5 月 16 日に、緩効性肥料 LP70 で 6gN/m<sup>2</sup>、硫酸で 2gN/m<sup>2</sup>を施肥した。燐酸およびカリウム肥料は、4 月 24 日に溶リンで 30g/m<sup>2</sup>、4 月 25 日に塩化カリウムで 9g/m<sup>2</sup>、ケイ酸カリウムで 6g/m<sup>2</sup>を施肥した。水管理は常時湛水であった。出穂日は FACE 区および ambient 区のいずれも 8 月 11 日であり、8 月 9 日の出穂期直前と 8 月 24 日の乳熟期に茎数を調査し、各プロットで平均的な生育を示した株について出液速度、出液中の全窒素濃度および窒素量、SPAD 値を測定した。出液中の全窒素濃度については、アルカリ性ペルオキソ二硫酸カリウム分解-紫外線分光光度法で測定した。また、根系がほぼ完成していると考えられる出穂期直前には、茎葉部重のほか、株を中心として直径 15cm×深さ 15cm の円柱状の土壌モノリスを採取し、そこに含まれる根の長さとも測定した。

**結果と考察** 出穂期直前における FACE 区と ambient 区の茎葉部重や根重には、違いが認められなかった。これは、FACE 区の方が茎葉部や根重が大きかった 1999 年 (1) と異なっていたが、2003 年は冷夏であったため、高濃度 CO<sub>2</sub> 条件による生育の促進効果が例年ほど現われなかった可能性がある。また、出穂期直前においても、FACE 区と ambient 区で株当たりの出液速度に違いは認められなかったが、FACE 区では茎数が多かったため、1 茎当たりの出液速度は小さかった ( $p=0.086$ )。また、FACE 区では比根長が小さかった ( $p=0.068$ )。出液中の全窒素濃度および全窒素量は、FACE 区の方が有意に小さかった (それぞれ  $p=0.002$ 、 $0.008$ )。これは、出穂期直前に土壌中に残存していた窒素量を検討する必要があるが、FACE 区は 1 茎当たりの出液速度が小さかったことも原因の 1 つと考えられる。乳熟期の株当たりの出液速度と 1 茎当たりの出液速度にも、出穂期直前と同様の傾向が認められたが、出液中の全窒素濃度および全窒素量は FACE 区と ambient 区で明確な違いが認められなくなっていた。平年並みの気象条件であった 1999 年には、登熟初期、中期ともに FACE 区で株当たり出液速度が比較的大きく、比根長は小さい傾向が認められた (2)。したがって、日照や気温が平年並みで高 CO<sub>2</sub> 濃度の影響が現われた場合には、光合成能力が高く維持され、また、根系への同化産物の分配が多く、FACE 区における根系の生理的活性が高くなるが、2003 年のように日照不足や低温だと、根系の生理的活性における高 CO<sub>2</sub> 濃度の影響が認められないと考えられる。また、気象条件が異なる両年とも FACE 区で比根長が小さくなったことは、茎数の増加に伴い、細い根の割合が増えたことを反映している可能性がある。出液に伴う窒素の吸収については、気象条件や土壌条件を検討しながらデータを蓄積する必要がある。

**引用文献** (1) Kim, H. Y., M. Lieffering, S. Miura, K. Kobayashi and M. Okada 2001. *New Phytologist*. 150:223-229 (2) Morita, S. and J. Abe 2004. *Proceedings of the third International Congress on Adventitious Root Formation*. (in press)



## 陸稲・水稲品種間の出液速度の変異とその形態的要因

## Varietal difference of bleeding rate among upland and lowland rice cultivars and its morphological factors

河西佑太郎・阿部淳\*・森田茂紀  
Yutaro Kasai, Jun Abe\* and Shigenori Morita

東京大学大学院農学生命科学研究科  
\* e-mail: abejun@cup.com

陸稲畑や天水田など、しばしば水が不足する条件下でのイネの収量安定のためには、根の機能が高い品種の育成が重要であり、根を簡便に評価し選抜する方法の確立が望ましい。出液速度は、根を掘り出すことなく根系全体の活性を評価できる方法として着目され、イネにおいては水稲品種間での比較が試みられているが、陸稲品種も含めた *Oryza sativa* の広い遺伝的変異のなかでの比較はまだ例が少なく、またその品種間差の要因も不明な点が多い。本研究においては、陸稲品種・水稲品種について、良好な条件下での出液速度を比較し、その品種間差の要因を形態的な形質と関連づけて解析した。

材料に用いたのは、インド型・日本型（一部に熱帯日本型を含む）の陸稲品種・水稲品種、計 14 品種である。東京大学弥生キャンパス内のビニールハウスにおいて、施肥した黒ボク土を 1/2000 a フグナーポット（直径 30cm・高さ 30cm）に充填して直播し、播種後 20 日目に間引いて 1 ポット 3 株（各株 1 個体）として湛水した。出液速度の測定は、播種後 46 日目と 70 日目の午前中に、各株の茎葉を土壌表面から約 5cm の部位で切除し、切株の切口に綿トラップを当てて、1 時間の綿重量の増分から算出した。測定後、根系を採取し、根数、根重（乾物重）、根長（ルートスキャナによる測定値）などを測定した。

播種後 46 日目における各品種の葉齢は 9.1–11.1 の範囲であった。この時期の出液速度は陸稲品種の方が水稲品種に比べて大きい傾向が認められた。全 14 品種間の変異をみると出液速度と根重との間には密接な正の相関関係が認められ、この時期における陸稲品種の出液速度の大きさは、主として根重の大きさによるものと考えられた。茎数には大きな品種間差があったが、出液速度はむしろ茎数・冠根数の少ない少げつ型の品種で大きく、とくに陸稲品種のなかに、根数は少ないが個根が大きく総根重の大きい品種が多かった。単位根重当りの出液速度における品種間変異は比較的小さく、個々の根の活性よりも根量が出液速度を規定していた。

70 日目には 5 品種で幼穂形成が始まっていた。陸稲品種は、根重は大きかったが、株当りの出液速度は水稲品種との間に差異がなくなり、出液速度と根重との関係も 46 日目ほど明瞭ではなかった。むしろ、単位根重当りの出液速度に品種間の変異が大きく水稲品種の方が高い傾向にあり、この時期においては、根量に加えて個々の根の活性が、株全体での出液速度をも強く規定していると考えられた。単位根重当りの出液速度で示される根の活性については、根の老化や、古い根と新しい根の比率などに品種間差があることが予想されるが、これに加えて、個根の形態も関与している可能性がある。この時期の株当りの出液速度と根長との間には有意な相関が認められなかったが、単位根重当りの出液速度は、比根長（単位根重当りの根長）と密接な正の相関を示したことから、側根の発達程度が出液速度に影響したと示唆される。なお、今回は湛水条件下での実験であり、70 日目においては、本来畑条件に適応した陸稲品種では、根の老化が促進されたり側根形成が抑制されていた可能性を指摘しておきたい。

インド型・日本型との間には、いずれの時期も明瞭な差異は認められず、こうした起源よりも、畑・水田という生態型へ適応・選抜の方がより強く、各品種の根系の遺伝的特性を規定してきたと考えられる。

イネの生育と収量に対するケイ酸の影響の再評価

玉井 一規・武岡 祐子・徐勇・馬 建鋒\*

香川大学 農学部

(Tel : 087-891-3137, \*E-mail : maj@ag.kagawa-u.ac.jp)

ケイ素は植物生理学的な観点からまだ必須元素として認められていないが、イネの健全な生育と安定した収量に不可欠なため農業上の必須元素とされている。今まで水耕や土耕栽培、圃場試験などでイネの生育及び収量に対するケイ酸の有益効果が多数報告されているが、植物の生育に対するケイ酸の効果がストレス条件下で現れやすいという特徴を持っているため、今までの評価方法は必ずしもケイ酸の真の効果を反映したものとは言いがたい。本研究ではケイ酸吸収能力の異なるイネの野生種であるオオチカラ (WT) とそれから得られたケイ酸吸収欠損変異体 (GR1) を用いて、圃場におけるイネの生育、収量とケイ酸吸収能力との関係を調べた。二系統を圃場に移植後、経時的に生育調査とケイ酸の吸収量の測定を行った。葉の SPAD 値と分けつ数はいずれの生育時期においても両系統の間にほとんど差が認められなかった。しかし、草丈については 1 割、乾物重は 3 割ほど WT のほうが GR1 より高い傾向が認められた (図 1)。また茎葉中のケイ酸濃度はいずれの生育時期においても WT が GR1 に比べ、9~19 倍高かった。籾殻のケイ酸濃度を比較した結果、WT が  $80.7 \text{ mg Si g}^{-1}$  であったのに対し、GR1 が  $6.3 \text{ mg Si g}^{-1}$  で、WT の 10 分の 1 以下であった。収穫時の収量構成因子を比較した結果、穂数、千粒重には WT と GR1 の間に差は認められなかったが、一穂粒数は WT の方が GR1 より 1.25 倍多かった (図 2)。また今年は冷夏と日照不足のため、WT の稔実歩合が低く、約 50% であった。しかし、GR1 の場合はわずか 10% であった。その結果、籾の収量は GR1 がわずか WT の 11% であった (図 1)。さらに GR1 の籾殻には褐色の病斑点が観察された。これらの結果はケイ酸の効果は主に稔実歩合を高めることによって、収量に寄与していることを示している。籾殻に大量に沈積したケイ酸が籾殻の過蒸散抑制と病気抵抗性の向上を介して稔実歩合の増加に寄与していると考えられる。

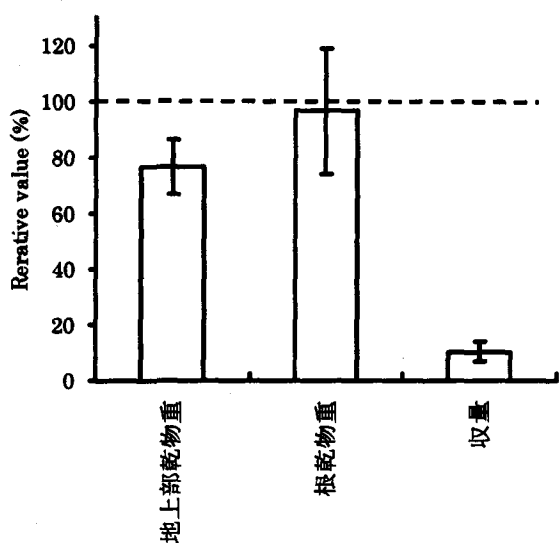


図 1 イネの生育及び収量に対するケイ酸吸収能力の違いの影響 (野生種 (WT) を 100% とした時の変異体の相対値を示している)

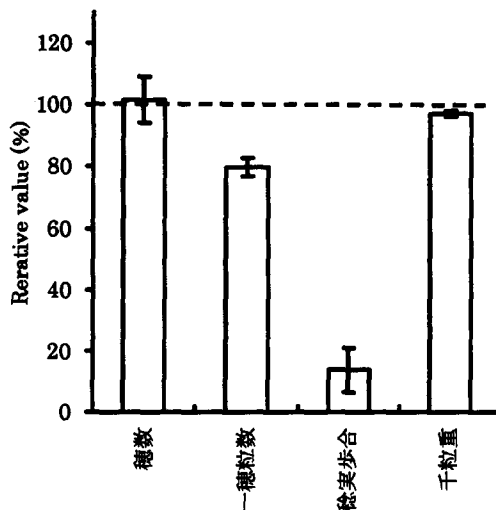


図 2 イネの収量構成因子に対するケイ酸吸収能力の違いの影響 (野生種 (WT) を 100% とした時の変異体の相対値を示している)

## ホウレンソウの根系分布と客土等によるカドミウム吸収抑制効果

菊地 直・宮地 直道\*・村上 弘治・木嶋 伸行

野菜茶業研究所 (\*現 日本大学)

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

食品中のカドミウム(Cd)濃度について、新たな国際基準値が検討されており、野菜では  $0.05\text{mg kg}^{-1}$  (葉菜類  $0.2\text{mg kg}^{-1}$ 、いずれも新鮮重あたりの濃度)の基準値案が提案されている。野菜については、国内ではこれまで Cd 濃度基準が定められていなかったこともあり、Cd 吸収に関する知見は、水稻等と比較して少なく、対策技術に関する研究事例も極めて乏しい現状にある。そこで、他の野菜と比べて Cd 濃度が高い傾向があるホウレンソウについて、客土処理等の Cd 吸収抑制技術の効果について、根系分布との関連から検証を行った。

### 【材料および方法】

農ビシートで底を密閉した塩ビ管(直径 30cm、長さ 60cm)に Cd 汚染土壌 ( $0.1\text{M}$  塩酸抽出 Cd:  $5.22\text{mg kg}^{-1}$ 、pH7.4、レキ質黄色土)および非汚染土壌(同:  $0.10\text{mg kg}^{-1}$ 、pH6.2、黒ボク土)を充填したものに、ホウレンソウ(品種: 'アクティブ')を播種(約 10 粒/ポット、発芽後 2 個体/ポットとなるよう間引き)し、ビニールハウス内で栽培した。汚染区(汚染土壌のみ)、20cm 客土区(汚染土壌に非汚染土壌を 20cm 客土)、40cm 客土区(同 40cm 客土)、非汚染区(非汚染土壌のみ)の 4 処理区を設けた(各区 3 反復)。施肥は被覆肥料(ロング 424-40、 $15\text{g}$ /ポット)を表層 20cm の土壌に混和した。最大葉長が 25cm 程度になった時点で順次収穫し、可食部 Cd 濃度および層別の根長・根表面積を測定した。また、客土厚を 20cm とし、汚染土壌と客土した非汚染土壌の間に透水遮根シートを敷設した区と、敷設しない区を設け、同様の方法で栽培を行い、可食部の Cd 濃度を測定して、透水遮根シートの効果についても検討を行った。ホウレンソウの Cd 濃度は、地上部のみを超純水(Millipore Milli-Q Gradient)で洗浄後、通風乾燥・微粉砕した後、硝酸および過酸化水素で湿式灰化し、ICP 質量分析装置(セイコー電子工業 SPQ8000)で測定した。根系分布については、表層より 20cm ごとの土層それぞれから根を回収し、フラットベッドスキャナにより画像を取り込み、画像解析ソフト(Regent instruments Inc. WinRhizo)を用いて根長および根表面積を測定した。

### 【結果および考察】

ホウレンソウの Cd 濃度は、20cm 客土区では汚染区より値は低かったものの、 $0.2\text{mg kg}^{-1}$  を超える値を示したのに対し、40cm 客土区では非汚染区とほぼ同じ値 ( $0.11\text{mg kg}^{-1}$ ) となった。根長および根表面積は、40cm 客土区では汚染土壌の層に分布する割合が 1~2%であったのに対し、20cm 客土区では汚染土壌の層に 50% 以上の根が存在していた。塩ビ管を用いた今回のモデル試験では、ホウレンソウの根は表層より 60cm の深さまで伸長していたが、40~60cm における根の割合は 1~2%であり、ほとんどの根が 40cm までの深さに存在していた。汚染土壌の Cd 濃度や栽培条件により、必要な客土厚は異なると推定されるが、本試験における結果では、客土厚が 40cm の場合、汚染土層に展開する根の割合は非常に低く、客土厚 20cm と比べ、ホウレンソウ可食部の Cd 濃度低減効果が高いことが明らかとなった。透水遮根シート設置による効果については、設置・非設置両区とも Cd 濃度は  $0.2\text{mg kg}^{-1}$  を超える値を示したが、透水遮根シートを設置した場合の Cd 濃度は、非設置区の 50% 以下に減少したことから、十分な客土厚が確保できない場合でも、透水遮根シートを併用することにより、抑制効果が高まることが示された。

### 茶樹における木化根の乾物蓄積量の推定

松尾喜義 (野菜茶業研究所茶業研究部)  
(matuok@affrc.go.jp)

#### 1 背景と目的

地球温暖化と大気中の二酸化炭素濃度増加との関連が次第に明らかにされ、森林や樹木による二酸化炭素の固定量の現状見積もりとその増大方法が重要な課題になっている。チャは永年生の木本作物なので幹や太根に「材」として二酸化炭素を固定するが、茶樹の「材」としての年間生産量はほとんど測定されていない。そこで、茶樹体による年間二酸化炭素固定量を概算するために成木茶樹を掘り取り、調査を行った。

#### 2 調査方法

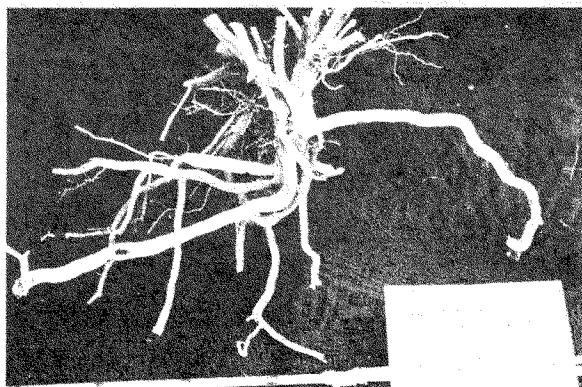
野菜茶業研究所金谷茶業研究拠点で成木茶園から茶株を掘り取り、付着した土砂を取り除いてガラス室内で数ヶ月間十分乾燥後地下部と地上部に分けて乾燥重量を計測した。掘り取りはバックホウを用いて十分注意して行い、直径約1 cm以上の太根は可能な限り掘り出した。このほか、牧ノ原台地周辺の農家茶園からも茶株を抜き取って同様に調査した。

#### 3 結果と考察

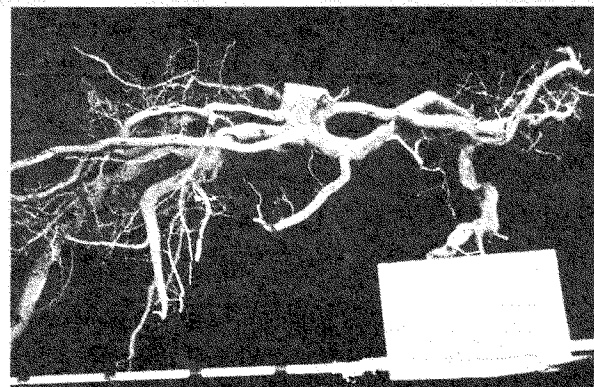
調査結果を表に示した。n印は農家のサンプルで、いずれの試料株も単条植えて株間30cmである。地上部aが地面から約40cm以上の部分で数年に一度更新時に除去される部分で、地上部bがその際除去されない太い枝の部分である。農家茶園では非常に生育が旺盛であった。茶樹の品種によってもかなりの差異があり、地下部が太くなりやすい「かなやみどり」では「やぶきた」よりかなり重かった。この調査データから、通常の植栽密度(株間30cm、条間180cm)で10a当たり1850株あるので、「やぶきた」の場合地下部の根風乾重は1.5トン程度あり、地上部風乾重は4トン程度と見積もられる。この量は生の場合約2倍になり、地下部3トン地上部8トンほどと計算される。茶園は日本に約5万ヘクタールあるのでその乾物重は地上部で約2百万トン地下部で75万トン程度と見つめられる。

表 茶樹の樹体生産量 (風乾重 kg/株)

樹齢 (年)	品種名	調査株数	地上部重 A	地上部重 B	地下部重
10	やぶきた	5	2.0	1.8	1.0 n
16	おくゆたか	5	—	0.8	0.4
7	いずみ	4	—	—	0.4
37	やぶきた	13	(A + B 2.2 )		0.8
37	かなやみどり	14	(A + B 2.5 )		1.2



やぶきた



かなやみどり

施肥量の違いによる茶樹細根量の変化

喜多嶋秀之

(三重県科学技術振興センター農業研究部茶業研究室)

E-mail: kitajh01@pref.mie.jp

これまで良質茶の生産のため多肥による茶栽培が行われてきたが、過剰施肥は地下水の汚染や亜酸化窒素の発生などの環境問題を引き起こしている。茶栽培では全体の 1/6 の面積である畝間部分にのみ肥料を集中施用する施肥法が行われ、多肥の連年施用により畝間には根がほとんどない状態となり、窒素吸収が悪いため更に窒素施用を増やすという悪循環に陥っている。

そのため、環境に配慮した茶生産にむけて施肥の適正化を進めているが、肥料を削減すれば収量・品質が低下するおそれがあり、肥料の吸収効率の向上技術の確立が望まれている。吸収効率の向上には茶樹の細根量が大きく影響すると考えられるため、茶樹細根の生態の解明が必要である。そこで、施肥量の異なる茶園で茶樹細根量を調査し、施肥量の多少による細根量の違いについて調査したのでここで報告する。

<材料及び方法>

鈴鹿市の現地農家茶園(黒ボク土)において、窒素施肥量 35kg/10a で6年間栽培を行った区(少肥区)と施肥窒素量 70kg/10a で栽培を行った区(対照区)のそれぞれの畝間及び雨落ちの表層部分の細根量を調査した。調査方法は内径 50mm、高さ 150mm の円筒形の採土管(体積 300cm<sup>3</sup>)で土を採取し、採土管に含まれる細根量を調査した。採土は各区5カ所ずつ行ない、5月から9月まで約1ヶ月毎に5回調査を行った。

施肥量と施肥時期

少肥区 N34.6kg (3月上旬 11.8kg, 4月上旬 7.2kg, 6月中旬 7.8kg, 8月上旬 7.8kg)

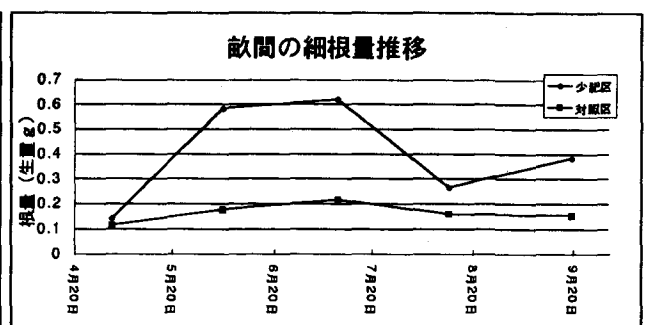
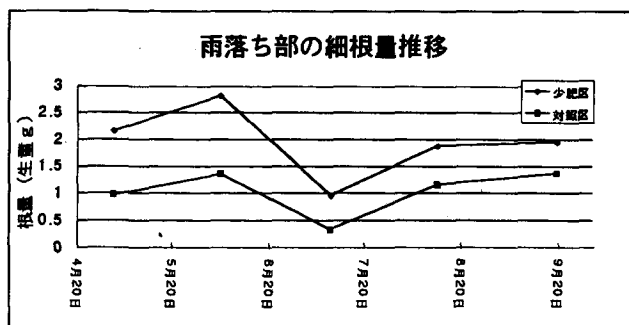
対照区 N73.1kg (2月下旬 11.2kg, 3月下旬 8.5kg, 4月上旬 10.8kg, 6月中旬 10.0kg, 7月中旬 10.8kg, 8月上旬 10.6kg, 9月上旬 11.2kg)

一番茶摘採 5月21日、二番茶摘採 7月4日

<結果及び考察>

調査結果を下図に示した。少肥区は対照区に比べ、どの時期においても畝間・雨落ち部分とも根量が多く推移した。また、施肥部分である畝間は、直接施肥されない雨落ち部分に比べ、根量が 1/2 から 1/10 程度と常に少ない状態が続いた。

以上のことから、施肥量の多少により茶樹の細根量に違いが見られることが明らかになった。



空気中でのサツマイモの塊根形成  
—葉数および根径の異なる植物について—

江口壽彦

九州大学生物環境調節センター

(連絡先 e-mail: egut@agr.kyushu-u.ac.jp)

サツマイモの塊根 (いわゆるイモ) は、節根の一部が局所的に異常肥大したもので、多量のデンプンを蓄積することから貯蔵根とも呼ばれる。サツマイモの苗を畑に植えれば、多少条件が悪くとも苗から伸びた多数の節根のうち数本は肥大していくつかの塊根が収穫できる。しかし、ある1本の節根に着目した場合、これが将来塊根を形成するかどうかの予測は不可能であり、特定の根を確実に塊根形成へと導く栽培法は確立されていない。そのため、どのような外的および内的条件を整えば塊根が形成されるのかは未だ明らかでなく、塊根形成に関わる遺伝子発現機構も十分には解明されていない。塊根形成過程を明らかにするには、まず塊根の形成を制御する手法の確立が必要と考えられる。そこで、その前段階として確実に塊根形成に至る栽培法の確立を試みた。ここでは、その栽培法および実用例を紹介する。

## &lt;材料および方法&gt;

材料にはサツマイモ品種ナルトキントキを用いた。2葉3~4節を有する挿し穂の下位節をパーミキュライトに垂直に挿し、気温 25℃ 相対湿度 70% のファイトトロンガラス室で 10 日間発根させた。最も伸長した節根 (根長約 25cm) 1本を残し、他はすべて切除した。この時点で根には塊根形成の徴候は全く認められなかった。葉数および根径の異なる以下の4種類の植物体を実験に用いた。T-L: 2葉&比較的太い節根 (直径約 1.5mm), T-S: 2葉&比較的細い根 (直径約 1mm), S-L: 1葉&太い根, S-S: 1葉&細い根。これらの植物を塊根形成誘導用の水耕装置に移植した。ここでは根は暗箱内に置かれ、一部は空気に暴露され、残りの部分は培養液中に浸される。地上部環境を気温 28℃, 相対湿度 70%, 光強度  $250\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 12時間日長とし、暗箱中の環境を気温 28℃, 培養液温 28℃ とした条件下で植物体を 20日間生育させた。根の最大径を5日毎に計測した。

## &lt;結果&gt;

いずれの植物体も、まず空気中にある根全体が径を増し、その後一部が局所的に膨らむパターンを示した。初期根径の大きな T-L, S-L では、水耕5日後には節根最大径が 2mm を超えた。これは二次生長開始の目安とされている。また、水耕10日後には最大径が 4mm を超え、局所的な肥大も観察された。しかし、その後は葉数の多い T-L での肥大が優れており、20日後の最大径は T-L で 12.7mm, S-L で 8.8mm であった。一方、初期根径の小さな T-S, S-S ではともに、最大径が 2mm を超えるのは10日後で、局所的な肥大が確認されたのは15日後であった。ここでも局所的な肥大が確認された後は葉数の多い T-S での肥大が優れており、20日後の根径は T-S で 8.5mm, S-S で 5.7mm であった。初期根径は中心柱内の原生木部数と関連しており、より太い根はより多くの原生木部を有する、すなわち輸送系が充実していると考えられる。また葉数の違いは光合成産物の供給力の違いとみなすことができる。したがって、本実験で得られた結果において、塊根形成開始の早晩には節根の輸送系の充実度が、塊根形成後の肥大には光合成産物の供給力が影響していると推察される。

報告 (第19回根研究集会発表要旨)

北海道北部の冷温帯林における地上部および地下部の生産量・枯死量

福澤加里部\*(北大院・農)・柴田英昭・高木健太郎・佐藤冬樹・笹賀一郎・小池孝良(北大北方生物圏 FSC)

(\* E-mail: caribu@exfor.agr.hokudai.ac.jp)

1. はじめに

大気から森林生態系に固定された炭素の挙動については不明な点が多い。地下部へ転流する光合成産物の割合や、土壌の炭素収支の構成要因として、植生の根系から土壌への炭素移入量については定量的に明らかとなっていない。本研究では、土壌-植生系の炭素・養分循環における細根動態の役割を明らかにすることを目的に、細根生産量・細根枯死量を定量的に算出し、地上部生産量・リターフォールと比較した。

2. 調査地と方法

2-1. 調査地

研究は、北海道大学天塩研究林151林班(45° 03' N, 142° 06' E)で行った。同林分は冷温帯林で、ミズナラ (*Quercus crispula*) が優占し、林床にはクマイザサ (*Sasa senanensis*) が繁茂している。

2-2. 地下部生産量・枯死量

細根の動態調査はミニライゾトロン法を用いて行った。本法を用いることにより非破壊的に同一の根を追跡することができる。2001年6月に同林分内で3本のミズナラ対象木から2m, 4mの位置において計6本のアクリル製ミニライゾトロンチューブ(全長:2m, 内径:5.08cm)を埋設した。挿入角度は地表面に対して約45°、挿入深度は垂直深度で約50cmである。

ミニライゾトロン専用カメラ (BTC Minirhizotron Camera System, Bartz Technology 社, USA) をチューブに挿入し、チューブ外壁に接する土壌面の画像を取り込み、PCに保存した。画像は地表から約45cm深まで連続的に取り込んだ。観測は2002年4月下旬から2003年5月上旬までの1年間、1ヶ月間隔(生育期)でおこなった。根系画像解析ソフト (MSU Roots Tracer, ミシガン州立大学, USA) を用いて、画像上の根をマウスでトレースして各根の根長・直径を測定した。数値単位は画像面積あたりの総根長である根長密度 (mm cm<sup>-2</sup>) に変換した。生産量は、期間中に新たに出現した新根 'new' の根長に、既に存在していた根が伸長した分の根長を加えることにより求めた。枯死量は期間中に消失した根の根長と減少した分の根長の合計として求めた。生産ターンオーバーは1年間に生産した根長を細大根長または初期根長で除することにより算出した。枯死ターンオーバーも同様に1年間に枯死した根長を最大根長または初期根長で除することにより算出した。細根バイオマスはコアサンプリング法または掘り取り法を用いて測定した。細根生産量・細根枯死量は細根バイオマスにそれぞれ生産と枯死のターンオーバーを乗ることにより求めた。土壌深15cm

とに各値を算出した。

木化根年増加量は木化根バイオマスに年輪解析から求めた年増加率を乗ることにより求めた。地下部生産量は細根生産量と木化根増加量の合計として求めた。

2-3. 地上部生産量

年間木部増加量はミズナラ地上部バイオマスに年輪解析から求めた年増加率を乗ることにより求めた。地上部リターフォールはリタートラップを用いて採取した。地上部生産量は年間木部増加量と地上部リターフォールの合計として求めた。

3. 結果と考察

観察された細根の直径は90%以上が0.5mm以下であった。根長密度は観測期間を通して増加していたが、8月の値と翌年5月の値はほぼ等しかった。これはその期間、生産・枯死が平衡状態にあったことを示す。生産・枯死とも土壌表層(0-15cm)で最もさかんに起こり、土壌深度が深くなるにつれ減少した (Fig. 1)。特に枯死は深層で劇的に減少し、30-45cm深では観測期間中に観察されなかった。細根バイオマスは300-880g m<sup>-2</sup>であった。生産ターンオーバー・枯死ターンオーバーは計算法により異なった。すなわち、分母に最大根長を用いた場合にターンオーバーは最小になり、初期根長を用いた場合に最大になった。前者の場合の表層における生産ターンオーバー・枯死ターンオーバーはそれぞれ1.6, 1.1 (yr<sup>-1</sup>)であった (Fig. 1)。生産量・枯死量はその計算法により大きく異なっていたが、細根バイオマス・ターンオーバーとも最小値を用いた場合の細根生産量は480g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>、細根枯死量は330g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>であった。地下部生産量 (BNPP) がNPPに占める割合は40%以上であった。また、細根枯死量は地上部リターフォールを上回った。

以上の結果から、有機物の多くが地下へ転流し、細根枯死を通じて土壌へ移入していることが明らかになった。

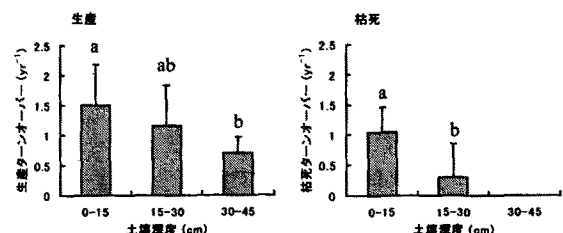


Fig. 1 土壌深度別のターンオーバーは標準偏差を示す (n=6)。異なるアルファベットは土壌深度間で統計的に有意差があることを示す (p<0.05)。

ダイズ地下部に依存した NaCl 地上部移行抑制能力の品種間差異

村中 聡・稲永 忍

(鳥取大学乾燥研究センター)

E-mail: stm00@mac.com

ダイズ(*Glycine max* [L.] Merr.)を含む豆科作物は、乾燥地の食料生産において重要な位置を占めているが、他の作物と比べ耐塩性が比較的弱いとされている。ダイズの耐塩性の品種間差異には地上部における茎から葉への Na<sup>+</sup>の移行抑制が深く関わっているという報告がある。しかし、その一方、耐塩性の品種間差異が地下部に強く依存しているという報告もあり、耐塩性の品種間差異を引き起こす機作については、まだ十分明らかとなっていない。そこで、特に地上部への Na<sup>+</sup> 移行抑制能力に着目して、ダイズの耐塩性についての品種間差異が地上部と地下部のどちらに深く関連しているかを検討した。

材料および方法: ダイズ品種 Lee と Harosoy およびナカセンナリの3品種を用いて、実験を行った。これらの品種については予備実験の結果から、地上部への Na<sup>+</sup> 移行速度が異なることが明らかとなっている。8月6日にプラスチックハウス内でパーミキュライトに播種を行い、播種後6日目にそれぞれの品種を交互に接木することで、接ぎ穂3品種、台木3品種の計9組み合わせを作成した。播種後12日目に鳥取砂丘砂約4Kgを充填したポットに移植し、播種後27日目から60mM NaCl 処理を開始した。処理開始後より、5日ごとに最上位完全展開葉の光合成・蒸散速度、SPAD 値、葉数、主茎長の測定を行った。処理後20日目に葉、茎、花+莢、地下部の各部位に分けて収穫し、部位別乾物重および部位別 Na<sup>+</sup> 含有率の測定を行った。

結果および考察: NaCl 処理後10日目ごろから、台木として Harosoy およびナカセンナリを用いた組み合わせでは光合成・蒸散速度、SPAD 値が大きく低下し、目視でも葉の枯れ上がりや萎縮が確認できた(写真1)。一方、台木として Lee を用いた組み合わせではこのような変化は見られず、光合成・蒸散速度にも低下は見られなかった。処理後20日目の全乾物重には台木による影響はほとんど見られなかった。しかし、台木に Lee を用いた組み合わせでは、他の組み合わせよりも高い花+莢の乾物重を示した。他の組み合わせに比べ、Lee を台木として用いた組み合わせは葉の Na<sup>+</sup> 含有率が低かった (図1)。茎および根ではこのような差は見られず、茎の Na<sup>+</sup> 含有率については Lee を台木とした組み合わせでやや高い値を示した。以上の結果より、今回用いた3品種間では、地上部への Na<sup>+</sup> 吸収抑制能力の差は地下部形質に依存しており、この地下部依存の Na<sup>+</sup> 吸収抑制能力の差が耐塩性の品種間差異と深く関わっていると考えた。

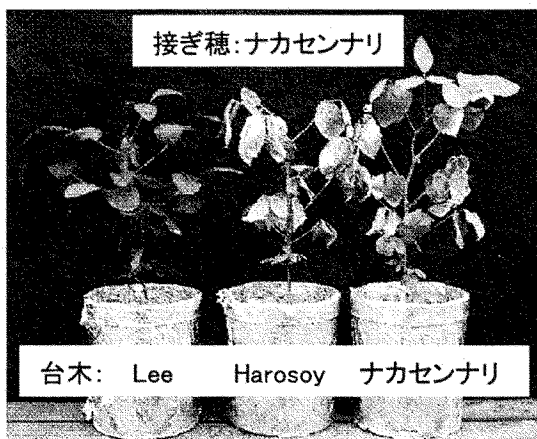


写真1. 処理後20日目ダイズの生育の様子

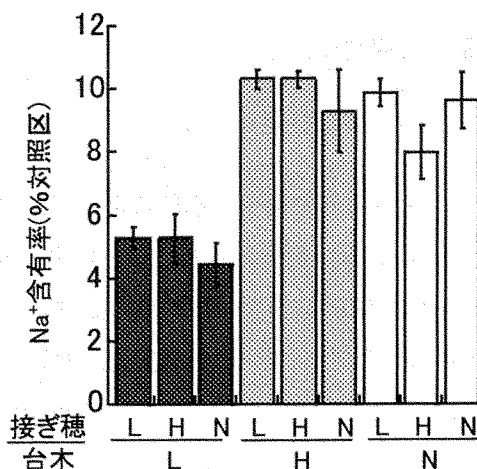


図1. 処理後20日目の葉のNa<sup>+</sup>含有率 (L: Lee H: Harosoy N: ナカセンナリ)



**ブラシノライドがダイズの根および根粒着生に及ぼす影響**○寺門 純子<sup>1,2,\*</sup>、藤原 伸介<sup>1</sup>、後藤 茂子<sup>3</sup>、倉谷 亮子<sup>3</sup>、米山 忠克<sup>3</sup>

1 中央農研、2 学振・科技特、3 東大院・農学生命科学

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

根粒菌の感染によりマメ科植物の根に形成される根粒は、宿主植物によって着生の制御が行われている。根粒着生のコントロールのメカニズムは、まず地下部で生産された root derived signal がプロテインカイネース様レセプターを介して、根粒着生のシグナルを地上部に伝達し、この結果シュートで生産された nodule regulation signal の作用により根粒のシステミック (全身的) な制御が行われると考えられている。これまでに、根粒着生の制御に関わる様々な物質の報告がなされており、中でも成長制御物質である植物ホルモンは、外部からの低濃度処理により根粒様物質の誘導や根粒着生の制御を行うことが報告されている。

植物ステロイドホルモンであるブラシノステロイドは植物の生長において様々な働きを行うだけでなく、近年では病害ストレス応答に関与し、病害抵抗反応をシステミックに誘導することが報告されている。今回、私達はブラシノステロイドの中でも最も強い生理活性を示すブラシノライドをダイズ野生株 (エンレイ) および根粒超着生ミュータント (En6500) の地上部および根の基部に注入し、根および根粒着生への影響を調べた。

**[材料および方法]**

ダイズエンレイおよび En6500 は播種後 3 日目にシードバックに移植し、さらに 3 日目に根粒菌 (*Bradyrhizobium japonicum* A1017) を接種した。地上部処理区については、根粒菌接種 1 日後にブラシノライド (1.5 nmol/plant) を葉および茎に塗布し、その後、根粒着生数を計測した。また、地下部処理区については、根粒菌接種 1 日後に根の基部にグラスキャピラリーを用いてブラシノライド (0.04-0.09 nmol/plant) を注入し、その後根粒着生数を計測した。サンプリング後、これらの植物体の新鮮重を測定し、ルートスキャナを用いて根長を解析した。

**[結果]**

ブラシノライドの地上部への処理により根粒超着生ミュータント (En6500) の根粒着生数は約 40% に抑制されたが、エンレイにおいては根粒着生の抑制は見られなかった。また、根の基部への注入においても En6500 では根粒着生の遅延が確認されたが、エンレイでは根粒着生への影響はみられなかった。また、地上部へのブラシノライド処理では、En6500 のみ地上部新鮮重と根粒重の減少が確認されたが、根の基部への注入では、エンレイと En6500 ともに新鮮重の変化は確認されなかった。さらに、地上部へのブラシノライド処理は、En6500 の根の伸長を抑制することが確認された。以上の結果から、地上部のブラシノライドがダイズの根の発達および根粒着生の抑制に関与することが示唆された。

トウモロコシ種子根における内皮カスパー一線の発達に対する  
エチレンの影響

松田香織\*・唐原一郎

富山大学理学部生物学科

(\*連絡先 e-mail : m022233@ems.toyama-u.ac.jp)

根が吸収した溶質はシンプラスト経路およびアポプラスト経路を通過して内皮へ達する。疎水性物質からなるカスパー一線が内皮の細胞間を埋めることで、アポプラストを経由した有用な物質の中心柱からの漏れや、不要な物質の非選択的な流入を防いでいると考えられている。カスパー一線は物質輸送の要となる構造であり、その発達の制御の仕組みは興味深い。

根が水分ストレスに曝されるとエチレン生成が増大することが知られている。また、エチレンは根の根毛分化すなわち細胞分化に影響を与えることが報告されている。そこで放射方向の物質輸送バリアであるカスパー一線の発達にエチレンが与える影響を調べた。

トウモロコシ (*Zea mays* L.) 種子は1日吸水させたのち、湿らせたパーミキュライトに播種した。芽生えは容積12.8 lの気密性のプラスチック容器に入れ、25°Cで7日間暗所で生育させた。エチレン処理区としては、濃度を0.5  $\mu$  l/lまたは2.5  $\mu$  l/lとし、24時間おきにエチレンを含む新鮮な空気15 lを吹き込むことで容器内の気体を入れ換えた。対照区としてはエチレンおよびCO<sub>2</sub>を吸収させるために容器内に活性炭および20% (w/v) KOH溶液を入れ、大気のみを用いて同様の換気を行った。得られた芽生えの根の長さを測定したところ、対照区の場合150~200 mm、エチレン濃度が0.5  $\mu$  l/lの場合100~150 mm、2.5  $\mu$  l/lの場合25~75 mmの長さの根がそれぞれ最も多くなっており、エチレン濃度に依存して根の生長が阻害されていた。

次に、上記の範囲の長さの根を用いてカスパー一線形成位置を調べた。根の先端から順番に手切り横断切片を作り、ベルベリンとアニリンブルーで染色し蛍光顕微鏡を用いて観察した。対照区の場合、根の先端から9.7 $\pm$ 0.3 mm (mean $\pm$ SE, n=13)、エチレン濃度が0.5  $\mu$  l/lの場合4.9 $\pm$ 0.3 mm (n=13)、2.5  $\mu$  l/lの場合1.1 $\pm$ 0.1 mm (n=14)の位置より基部側でカスパー一線が形成されていた。カスパー一線から根の先端までの距離はエチレン存在下では短くなっており、その効果は濃度依存性であった。

次にエチレンが内皮細胞分化の時間に与える影響を調べた。まず内皮細胞列1列あたりの細胞産生速度を調べた結果、播種後3日目の内皮細胞列1列分の細胞産生速度は、対照区の場合8.2 $\pm$ 0.4個/h、エチレン濃度が0.5  $\mu$  l/lの場合8.9 $\pm$ 0.6個/hであり、両者の間にほとんど差は見られなかった。次に両条件下における先端からカスパー一線形成位置の平均値までの部分を切り出し、内皮細胞列1列あたりの細胞数(個)を調べ、細胞産生速度(個/h)で割ることによりカスパー一線が形成されたばかりの細胞の齢(h)、つまり細胞が生まれてからカスパー一線を形成するまでの時間(h)を求めた。その結果、対照区の場合17.3 h、エチレン処理区(0.5  $\mu$  l/l)の場合10.7 hとなり、エチレンによってカスパー一線の形成が早められているという可能性が示唆された。次に阻害剤を用いた実験を行う予定である。

## ジベレリンとアンシミドールによるエンドウ根の細胞壁タンパクの変動

○堤 竜生, 林 弥智, 谷本英一

名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科

(連絡先 t.tsutsumi@nsc.nagoya-cu.ac.jp)

【目的】ジベレリンはシュートの成長を顕著に促進するホルモンとして発見されたが、根の成長をも制御することが明らかにされている。アラスカエンドウ (*Pisum sativum* L. cv. Alaska) では、外からジベレリン (GA) を与えると、莖の伸長は促進されるが根の成長は促進されない。しかし、GA 合成阻害剤であるアンシミドール (Anc) を加えると莖も根も成長が阻害され、GA を加えると莖だけでなく根の成長も回復する。一方、植物の成長には細胞壁の伸展性変化が不可欠であると考えられている。これまで当研究室では、根の GA 誘導伸長において細胞壁の物性や多糖組成が変化することを明らかにしてきた。本研究では、GA による細胞壁の物性変化の要因を解析する一環として、細胞壁に存在するタンパクについて網羅的解析を行うため、GA によって変動する主要アポプラストタンパクを SDS-PAGE で探索した。

【材料と方法】アラスカエンドウを水耕栽培し、播種後 6 日目から 4 日間ジベレリン (GA<sub>3</sub>) と Anc の組み合わせ処理下で生育させた。それらの根から細胞壁分画を調製し、2 モル NaCl で溶出されるタンパクを分析した。SDS-PAGE で GA<sub>3</sub> および Anc によって変化する主なバンドを検出し、ペプチドシーケンサーによるタンパクの同定を行った。

【結果】無処理のコントロールに比べ GA<sub>3</sub> の単独処理および GA<sub>3</sub>+Anc 処理では大きな違いは見られなかったが、Anc 単独処理下で生育させたものとの比較では幾つかの異なるバンドが検出された。そこで、Anc 処理と GA<sub>3</sub>+Anc 処理との相違点を詳しく比較し、バンド強度の異なる 11 種のタンパクを解析した。そのうちの 8 種のバンドについて部分アミノ酸配列が判明し、ホモロジー検索によりそれらの機能を推定した。GA<sub>3</sub> により変動したバンドとホモロジーの高い既知タンパクは次のようなものであった。

GA<sub>3</sub> により増加したバンド: pectin methylesterase (エンドウ, リョクトウ), peroxidase (ホウレンソウ, ダイズ, シロイヌナズナ)。

GA<sub>3</sub> により減少したバンド: chitinase class III (アズキ, タバコ, イネ), cysteine protease (エンドウ, シロイヌナズナ), peroxidase (ホウレンソウ, ウマゴヤシ)

【考察】タンパクのうち、pectin methylesterase と peroxidase は細胞壁多糖の分子間結合に関与している可能性がある。これらのタンパクと相同性の高いデータベース上のタンパク 13 種のうち、少なくとも 9 種はシグナルペプチドを有していた。そのため、今回エンドウの根細胞壁から抽出されたタンパクはアポプラスト由来で、細胞質タンパクのコンタミは少ないと考えられた。以上の結果から、GA は細胞壁構築に関わるアポプラスト酵素の量的制御を行っていることが示唆された。現在、未同定のバンドについても解析中である。

## 根導管液に含まれるアラビノガラクトタンパク質の解析

星野治子<sup>\*1</sup>、岩井宏暁<sup>2</sup>、佐藤忍<sup>2</sup><sup>1</sup>筑波大学大学院バイオシステム研究科、<sup>2</sup>筑波大学生物科学系

(\*連絡先 E-mail : harukoh@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

高等植物の根は、生合成した植物ホルモンやタンパク質などの様々な有機物質を導管流に乗せて地上部器官へ輸送し、個体の発生・分化や機能調節に関与していると考えられる。今回、カボチャ導管液を分析したところ、植物に広く存在するプロテオグリカン的一种であるアラビノガラクトタンパク質 (AGP) の存在が示された。AGP の機能としては、未だ不明な点が多い。また、シロイヌナズナゲノム中には、27 種類の AGP 遺伝子が確認されているが、そのうちで、根で特異的に発現しているのは *AtAGP3* と 13 の 2 種類であり、根での発現が強いものは、*AtAGP2,4,14,22* であることが報告されている。AGP が根で合成され、導管液中を地上部器官へ向かって流れているとすると、その生理的な働きに興味を持たれる。本研究では、根で特異的に生産される AGP に注目し、その特性解析を行った。

まず、導管液が多量に採取することができるウリ科のカボチャを用い、導管液中の糖類の構成を解析した結果、高分子性多糖類のほとんどを含んでいた CDTA 可溶性画分には、アラビノース、ガラクトースが多く見出された。この画分は 3,6 ガラクトースを主成分とし、AGP の特異的な染色試薬であるヤリブ試薬に反応したため、AGP に富むことが確認された。さらに、カボチャ導管液を SDS-PAGE にかけて後、ニトロセルロースメンブレンにプロットし、ヤリブ染色を行ったところ、高分子領域に特異的なバンドが得られた。また、定量的解析により導管液中には 3.9  $\mu\text{g/ml}$  の AGP が存在していることが明らかとなった。次に、この導管液 AGP をカボチャ導管液からヤリブ沈殿などにより、精製し、アミノ酸シーケンスを行ったところ、N 末端側 12 アミノ酸が決定された。

次に、シロイヌナズナの根での発現が強い *AtAGP3,13* 遺伝子のプロモーター下流に GUS 遺伝子を連結した形質転換タバコを作成し、その発現特性を調査した。p*AtAGP3::GUS* 導入タバコにおいては、地上部での発現は見られず、根で特異的に発現していた。また、根端において強い発現が見られたのに対し、成熟帯での発現は弱いことが確認された。一方、p*AtAGP13::GUS* 導入タバコでも根で特異的に発現していたが、根における発現パターンは *AtAGP3* とは異なり、根毛帯の維管束周辺で強い発現が見られ、根の先端部分で弱い発現が見られた。また、組織切片の光学顕微鏡観察により、皮層と分化した導管の 1 つ内側の細胞で強い発現がみられた。これまでの知見より、根で合成され導管液中に流れ出す物質は、根毛帯の中心柱で発現していることが明らかとなっている。このことから *AtAGP13* は、導管液 AGP の候補であると考えられる。

## キュウリ切断胚軸の組織癒合に関与する根導管液微量元素の解析

朝比奈雅志、牛腸ゆり子、佐藤忍 (筑波大・生物)

(e-mail; asahina@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

高等植物では、通常、一旦分離した細胞同士が、動物細胞のように再び接着することはない。しかし、雌しべ形成時の心皮の結合や、傷害・接ぎ木などによる組織癒合時などには、例外的に観察することができる。この様な後生的な細胞接着は、植物の形態形成にきわめて重要な現象であるにもかかわらず、そのメカニズムの解明がほとんど行われていないのが現状である。

キュウリ胚軸を用いた以前の研究において、皮層の組織癒合には、葉の産生する植物ホルモンの一種であるジベレリンが関与していることが示された。一方、根を切除すると「切断面上下の細胞の入り組み」が観察されなくなることも示された。この「細胞の入り組み」は、組織癒合部の細胞伸長・細胞壁成分の変化によって生じる現象であり、根から供給される導管液中に含まれる無機イオンが関与していることが予想されているが、詳細は明らかになっていない。本研究では、根導管液を通じて供給される組織癒合に関与する因子の同定、およびその生理作用の解明を目的とした。

播種後7日目のキュウリの根を切断し、苗条を成分の調整を行った液体培地の入ったチューブに移した。この植物体の胚軸をかみそりを用いて水平方向に半分程度切断し、そのまま7日間培養した。その後、切断部周辺の胚軸を切り出してテクノビット樹脂に包埋し、光学顕微鏡を用いて観察することで培地成分が皮層の組織癒合に与える影響を検討した。

根を切除した個体を蒸留水の入ったチューブで7日間培養した場合、切断面の上下組織の間に壁状の構造（以下分離膜と呼ぶ）がみられ、細胞の入り組みが阻害されていた。この分離膜は、カロースを含む構造であることが、アニリンブルー染色によって示された。このことから、この構造は傷害を受けたときに形成された物質が、中に閉じこめられたものではないかと考えられる。上下組織の細胞が入り組み、組織が癒合するためには、この分離膜が分解されるか否かが重要と考えられた。

一方、カボチャ根導管液（以下導管液）または Murashige & Skoog (MS) 培地を与えた場合、分離膜の形成が起きず、上下組織の細胞は入り組んでいた。このことから、導管液に含まれる何らかの成分が、分離膜の分解に関与していることが考えられた。また、MS培地でも導管液と同様の効果が得られたことから、成分の調節が容易であるMS培地を用いて、分離膜の分解に関与する根導管液因子の推定を試みた。MS培地の成分を、栄養塩類であるマクロ成分、有機成分であるオーガニック成分、無機物質群であるミクロ成分、Fe-EDTA成分に分け、同様の実験を行ったところ、MSミクロ成分のみを与えた場合も、MS培地そのものを与えた場合と同程度の分離膜分解効果が得られた。そのほかの成分では、このような効果はみられなかった。また、ミクロ成分の構成物質の中でも、比較的多く含まれるマンガン、ホウ素、亜鉛を同時投与することで、ミクロ成分そのものと同程度の効果を示した。

以上の結果から、根導管液に含まれる微量元素が、切断された組織の入り組みを阻害する分離膜の分解に作用していることが示唆された。これら元素の単独での効果と作用について、現在検討中である。

シロイヌナズナの水分屈性突然変異体 (*rhy4*, *rhy5*) の特性解析

高橋あき子、小林啓恵、柿本洋子、藤井伸治、高橋秀幸

東北大学大学院 生命科学研究科

(TEL: 022-217-5714, FAX: 022-723-8218, E-mail: okaki@ige.tohoku.ac.jp)

植物は様々な環境刺激に応答し、その姿勢を制御している。根の水分屈性は姿勢制御法のひとつであり、根冠で水分勾配を感受し、水ポテンシャルの高い方へ屈曲する現象である。水分屈性は、生命維持に必要不可欠である水を効率的に獲得し、水ストレスを回避するために機能すると考えられる。多くの植物の根では、水分屈性は重力屈性にマスクされるため、重力存在下においてその発現をみるのは難しく、これまでは、重力屈性突然変異体を用いた実験が行われてきた。しかし近年になって、われわれは、モデル植物であるシロイヌナズナの根が重力屈性に打ち勝って水分屈性を発現させることを明らかにし、シロイヌナズナを用いた水分屈性実験系を確立した。これにより、水分屈性突然変異体の効率的な単離が可能になった。

そこで、水分屈性の分子機構を明らかにするため、われわれは現在までにシロイヌナズナにおいて14株の水分屈性突然変異体を単離し、それらを *root hydrotropism* (*rhy*) と命名した。本研究では、これらの *rhy* 突然変異体のうち *rhy4* および *rhy5* について、それらの根の水分屈性、重力屈性、光屈性、波型成長、水分屈性にともなうアミロプラスト量の変化、伸長速度を解析した。その結果、*rhy4* の根は正の水分屈性を全く示さず、時間の経過とともに水ポテンシャルの低い側に屈曲し、また、野生型に比べて振幅の小さな波形成長を示した。*rhy5* の根では、水分屈性がほとんど見られず、且つ、波型成長時の伸長速度が低下していた。*rhy4* および *rhy5* は野生型と同様に正常な重力屈性を示し、さらに、水分屈性の発現にともなってアミロプラスト量を減少させた。

これらの結果から、*rhy4* と *rhy5* は正の水分屈性を欠損した突然変異体であることが明らかとなった。特に *rhy4* は水ポテンシャルの低い側に屈曲する大変ユニークな水分屈性突然変異体であった。現在、これらの突然変異体の変異遺伝子を同定するためにマッピングを行うと同時に、水分屈性突然変異体間の相補性検定を行っている。

シロイヌナズナの根端優勢が弱い温度感受性突然変異体 *rot302* にみられる

## リグニンの過剰蓄積

黒羽 剛<sup>\*1</sup>・岡田清孝<sup>2</sup>・佐藤 忍<sup>3</sup><sup>1</sup>筑波大学生物科学研究科, <sup>2</sup>京都大学理学研究科, <sup>3</sup>筑波大学生物科学系

(\*連絡先 e-mail: tkuroha@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

高等植物の不定根及び側根の形成には、茎あるいは根を切断することによりその上部での根の形成が誘導される、頂芽優勢に対応する「根端優勢」という現象が見られる。これには主に地上部から輸送されたオーキシンや傷害等が関与していることが知られている。一方、我々の研究により、根がサイトカイニン的一种であるトランスゼアチンリポシドを生産し導管を介して上側へ運ばれることによって、地上部での根の形成を抑制している可能性が示唆されている。本研究では、根の抑制的な制御機構に着目し、シロイヌナズナにおいて根端優勢が弱まった、つまり不定根や側根の形成が多く見られた突然変異体の単離及びその解析を試みた。シロイヌナズナに突然変異誘発剤 (EMS、メタンスルホン酸エチル) を処理することにより、不定根及び側根の形成が無傷の植物体でもよく起こる (根端優勢が弱い) 突然変異体を複数単離し、それらのうち、新規な突然変異体と予想される *rot302* についての表現型の解析を行った。

*rot302* は 23℃ 条件において根の伸長が遅く、根の細胞の伸長も抑制されていた。また、根の分枝が野生型よりも早い段階で見られ、不定根の形成も顕著にみられた。更に *rot302* は根毛の形成が抑制されるほか、根の内皮細胞に自家蛍光がみられる異常な細胞がパッチ状にみられた。これらの細胞は、フロログルシノール染色によるリグニンの蓄積、スタンレッド 7B 染色によるスベリンの蓄積がみられた。一方、*rot302* は低温条件 (18℃) では正常な表現型を示し、高温条件 (28℃) でこれらの表現型がより顕著になる温度感受性突然変異体で、高温条件では地上部においても暗所での胚軸・花茎の伸長抑制や花の形態異常、不稔といった表現型がみられた。

以上の結果から、*rot302* の原因遺伝子は植物の根形成における制御だけではなく、正常な細胞の状態を保つための重要な機能も持っており、その機能欠損は細胞が伸長するときに大きな影響を及ぼすことが考えられる。また、*rot302* では、根の内皮細胞にリグニンの過剰蓄積が起きると同時に傷害応答や植物ホルモンバランスの乱れが生じ、根端優勢が打破されることによって根の早い分枝がみられることが推測される。現在、遺伝子のマッピングにより原因遺伝子の同定を行うとともに、細胞分裂やオーキシン応答に関わるマーカーラインを用いた解析を行っているところである。

## シロイヌナズナ・ジーントラップラインにおける根維管束に特異的な遺伝子発現

小松 悠太<sup>\*1</sup>・黒羽 剛<sup>2</sup>・佐藤 修正<sup>3</sup>・加藤 友彦<sup>3</sup>・田畑 哲之<sup>3</sup>・佐藤 忍<sup>4</sup><sup>1</sup>筑波大学生命環境科学研究科、<sup>2</sup>筑波大学生物科学研究科、<sup>3</sup>かずさ DNA 研究所、<sup>4</sup>筑波大学生物科学系

(\*連絡先 e-mail: ykom@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

高等植物において、根や葉などの各器官は導管と篩管からなる維管束組織によってつながれている。近年の研究により、植物の根は土壌中の水分及び無機栄養分を吸収し輸送する以外にも、根自身で合成した様々な有機物質を導管流に乗せて地上部器官へ輸送していることが示されており、それら導管液有機物質が個体の発生・分化や機能調節に関与していると考えられている。しかし、それら導管液有機物質の機能や合成に関しては未だ不明な点が多い。キュウリ導管液中に存在するレクチン様タンパク質 XSP30 やグリシンリッチタンパク質 (CRGRP) は、根の根毛帯の内鞘及び木部柔組織で特異的に発現していることが分かっている。同様に、シロイヌナズナのリン酸トランスポーターが根の維管束で、特に導管周辺で強く発現することが示されている。これらのことから、導管液中の物質に関連する遺伝子が、根の導管の周辺組織で発現している可能性が考えられた。そこで本研究では、シロイヌナズナを用いたジーントラップ法によって、根維管束周辺組織で発現する遺伝子の同定を試みている。

GUS レポーター遺伝子を含む T-DNA をシロイヌナズナのゲノム中にランダムに挿入したラインを 51,000 ライン作成した。これにより、GUS の発色から、T-DNA が挿入された遺伝子が発現する部位を可視化できることが期待される。このうち、根において GUS の発現が見られるラインを 281 ライン得た。さらに、その内で根の中心柱で GUS の発現が見られるラインが 48 ライン得られた。それらのラインが根のどの組織で GUS を発現しているのかを確認するために、GUS 染色した根をテクノビット樹脂に包埋して、横断切片を作成し、光学顕微鏡による観察を行った。その結果、根の内鞘より内側で GUS を発現したラインが 23 ライン、内皮より内側で GUS を発現したラインが 1 ライン、内鞘より内側での発現に加えてその他の組織でも GUS の発現を示すラインが 4 ライン得られた。それらのラインの地上部器官での GUS の発現パターンを観察したところ、胚軸でも発現するものが 15 ライン、葉脈でも発現するものが 19 ライン、葉の排水組織でも発現が強いものが 10 ライン認められた。また、地上部では GUS の発現を全く示さず、根の維管束でのみ発現を示すラインが 2 ライン得られた。

導管液物質が根の維管束組織、特に導管周辺の組織で生産・分泌されている可能性が強く考えられることから、根維管束で特異的に GUS の発現を示すこれらのラインが、導管液物質に関連する遺伝子に T-DNA の挿入を受けている可能性が期待される。現在、T-DNA の近傍塩基配列を決定することで、導管液物質に関連する遺伝子の同定を試みている。



## イネの根系形成に関する発育形態学的・機能形態学的研究

阿部 淳

東京大学大学院・農学生命科学研究科

E-mail: abejun@cup.com

## 1. はじめに

今回賞を頂くことになった研究は、水稻・陸稻を対象に、根の量と分布に着目して根系形態を把握し、機能形態学的な検討を試みたものである。その過程において、根系全体の形が個根の発育・形態にどのように規定されるか、また茎葉部の形質が根系の形にどのように影響するかを発育形態学的な視点で解析した。特に、陸稻では耐乾性向上のための深根性の確立という視点から研究を行ってきた。また、水稻では出液速度を指標とした根の活性評価と組み合わせた。まだ不十分な点が多く、功労というよりは問題提起の域を出ていないが、この機会に、今後の研究に向けてご助言を頂ければ幸いである。

## 2. 水稻根系の把握—円筒モノリス法を用いた根量と分布の評価

水稻における根系の動態や機能が充分明らかになっていないのは、茎葉部生育調査における茎数、比葉面積、器官別乾物重に相当するような普遍的な評価指標が確立されておらず、また層別刈取り法のような手法が普及していないことが一因である。深さ別の根量を評価することは、茎葉部の層別刈取り法に相当するもので、根長密度あるいは根重密度は、比葉面積などと同様に、根系形成の発育形態学的な動態を把握するための基礎データであり、機能形態学的な観点からの根系解析の入口となる。私たちの研究室では、改良モノリス法やコア・サンプル法（オーガー法）よりさらに水田に適した円筒モノリス法とルートスキャナを用いることで、より効率的に層別の根長密度を測定し、品種や栽培管理の差異による根系の違いを検討してきた。とくに、草型の大きく異なる品種の比較を通じて、単位水田面積当りの全層根量もしくは全層平均の根長密度で評価される根量と、小柳敦史氏の考案による根の深さ指数で評価される垂直分布の、2つの特性によって、そのイネの根系の形態的特性が表せることを明らかにした。

## 3. 個根の形質と根系の特性

根の量と分布は、根系を形成する個根の形質によって規定されるはずである。実際、タイプの異なる品種間で1次根数、平均根長（側根も含めた節根1本当りの根長）、平均伸長角度を調査・推定して、根系全体の根量・分布との関係を見ると、総根量は1次根数と平均根長の、根の深さ指数は平均伸長角度と平均根長の重回帰による推定値と良く一致していた。具体的には、根数は小さいが平均根長と伸長角度がきわめて大きいLemontと、根数がきわめて多く平均根長や伸長角度が小さいIR36とでは、根量はいずれも同程度に大きい、分布はLemontが浅くIR36は浅くなるし、いずれの形質も中程度かやや小さいコシヒカリは、根量がこれら2品種より小さく分布は中程度であった。

陸稻においては、干ばつ年の水の獲得を考えると、深根性であることが望ましいと考えられる。畑作物では水稻と違って、円筒モノリス法は適さないため、塹壕法・バスケット法による観察・測定と、塩ビ管での土耕栽培による測定とを併用して検討したところ、圃場での深根性の確立には、水稻と同様に個根の伸長角度と長さの双方が重要と考えられた。さらに、伸長角度は大きく、根長の小さいことが根系の深さを制限していると考えられる品種の中には、個根の初期の生育速度は速いが、伸長の持続期間の短いことが制約になっていると考えられる品種もあった。

陸稻品種と水稻品種とでは、側根形成にも差異がみられる。とくに、根軸の中央部や先端側の部位で陸稻の方が側根の形成量が多く、さらに乾燥ストレスがかかると、陸稻品種ではS型側根が補償的に長くなり、2次側根も増加する。このことは、土壌のとくに深層部の根量に、側根形成の品種特性が寄与する可能性を示している。

なお、水稲・陸稲ともに、個根の長さや伸長角度に関わる形質として、根の直径が重要であると考えられる。昨年受賞した近藤始彦氏の研究成果は、インディカ品種の中には根が細くても効率良く深層部まで根を発達させる陸稲品種があることを示唆しておりたいへん興味深い。私たちがこれまでみてきた各種水稲品種や、ジャポニカの陸稲品種に限っていえば、根の太い品種のほうが個根の根長や伸長角度が大きい傾向がある。側根についても、陸稲品種では1次根が太いことが、水稲品種より側根の数が多い一因と考えている。

### 3. 茎葉部の形質との関係

イネの体は、典型的な節の積み上げ構造をもち、1節+1節間の茎断片を中核に、1葉・1分げつ芽と何本かの根が付属したファイトマー（要素）という基本単位の体系的集合体として考えることができる。したがって、葉数と同様に、根数はファイトマーの数によって制約されるし、さらに個々のファイトマーをみると、根の数や直径は、根原基の形成の場である茎のサイズに強く影響されることが根本圭介氏らの研究などで示されている。先に述べたように、根系の形が個根の数や長さ・伸長方向に規定され、さらに長さや伸長角度には根の直径が関与するのであれば、土壌環境に加えて、ファイトマーの数や大きさ（特に茎直径）が、根系の特性をある程度決めていたと予想される。圃場試験やポット試験で水稲の生育を追ってファイトマーの数と大きさを葉数と平均茎直径（または1ファイトマー当りの茎葉部乾物重）で評価しつつ根系調査を行った結果、根数はファイトマー数の直線回帰でかなりの精度で推定できること、個根のサイズもファイトマーの大きさからある程度は推定できることが示された。

陸稲においても、深根性程度の異なる品種間では茎直径に差異がみられ、根長や平均伸長角度に、茎葉部形質が関連していることがある程度示された。

### 4. 出液速度を用いた根の機能形態学的な解析

根の形態が、その根の機能にどのような意味を持つかを考える手はじめとして、出液速度を指標として個根や根系全体の活力を評価することを試みた。

ポット栽培した水稲について、個根の出液速度を測ってみると、側根数や側根を含めた根長との間に正の相関関係が認められた。とくに側根数が高い相関を示すことは若い組織である根端の数がその根の生理的活性に強く関わることを示唆している。さらに、いわゆるうわ根を形成するようなイネの生育後半に形成される節根では根長当りの出液速度が高くなる。ただし、これらの関係は、比較的若い根においてみられるものであり、根端付近まで側根形成が進んだ古い根では、側根数や根長によらず出液速度はきわめて小さくなることが多い。1ファイトマーを切り出してきて栽培する葉ざし法を用いた実験でも、ファイトマーの出液速度は根の伸長に伴って増加するが、発根から40-45日を過ぎたファイトマーでは、出液速度はきわめて小さい。

水田における株単位での出液速度には、品種や栽培管理による差異がみられる。登熟期においては、出液速度が低下するが、その推移は下位葉の葉色の低下や枯れ上がりと対応していることが多い。円筒モノリス法を用いた根系調査との組み合わせで、根の量や分布と出液速度との関係を検討しているが、農家圃場での乳苗移植栽培に関する調査事例では、生育後期に土壌表層に分布する根の生理的活性が比較的高いことが示されている。

今回受賞の業績は、共同研究の部分も多く、また多くの方々のご指導・ご協力をえて行われたものである。お世話になった皆様に厚く感謝する次第である。そのすべてをここで言及することはできないが、とくに学生時代からご助言を頂き今も共同研究者である森田茂紀教授（現東大附属農場）に負うところが大きいことと、出液速度研究のきっかけが学生時代の指導教官である山崎耕宇先生の構想にあったことを、特に記しておきたい。根研究会の皆さんのご助言も大きい。受賞に当たり、推薦して下さった伊藤治さんと、審査に当たって下さった方々にも、心より御礼申し上げる。

## Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan

馬 建鋒

香川大学農学部

(連絡先 e-mail:maj@ag.kagawa-u.ac.jp)

ケイ素 (Si) は土壤中に酸素に次ぎ 2 番目に多い元素で、平均 33% 存在している。したがって、土に根を下ろしているすべての植物にケイ素が含まれている。しかし、あまりにも普遍的な存在であることに加え、他の元素のような特徴的な欠乏と過剰症が出ないため、植物に対するケイ素の影響は長い間人々の関心を引かなかった。1862 年に偉大な植物栄養学者である Julius Sachs は論文の中で初めて次のように述べられている。“...Whether silicic acid is an indispensable substance for those plants that contain silica, whether it takes part in the nutritional processes and what is the relationship that exists between the uptake of silicic acid and the life of the plant?”。しかし、彼自身はトウモロコシを用いて行った水耕栽培で植物体のケイ酸含量が 0.3% に低下しても、9% を含む植物体の生育に何ら劣らないことから、ケイ素はトウモロコシの生育に必要でないと結論づけた。

一方、日本ではケイ素に関する研究は今から 90 年ほど前から始まり、1917 年に小野寺がイネのイモチ病とケイ素との関係について学術誌に発表したのが最初の論文とされている。その後、特に戦後、土壌、肥料及び植物栄養生理学の各分野においてケイ素に関する研究が盛んに行われ、多くの成果を収めている。日本でケイ素の研究が盛んな背景には (1) 日本の主要作物はイネで、典型的なケイ酸集積植物であるという植物学的な特殊性、(2) 密植多肥 (多窒素) 集約栽培という栽培学的特殊性、(3) 可給態ケイ酸が不足している土壌 (老朽化水田土壌) が多く存在している土壌学的特殊性、(4) ケイ酸源として製鉄鉍滓が登場したという社会情勢の変化といった事情によるものと共著者である高橋英一京都大学名誉教授が分析している。1952 年に日本は世界ではじめてケイ素を肥料成分として認め、その後イネ作りの一環としてケイ酸質肥料が施用されてきた。

諸外国では、1970 年代以降ケイ素に関する研究が盛んになり、イネ、サトウキビなどの作物に対するケイ素の有益効果が多く報告されている。特に 90 年代以降、欧米諸国を中心にケイ素に関する研究は日本よりも活発に行われ、ケイ素は持続的生産に必要な要素の一つとして位置づけられている。1999 年に植物のケイ素に関する第一回の国際会議 Silicon in Agriculture がフロリダ大学の Datnoff らの主催でアメリカフロリダ州で開催された。その際、筆者は Keynote Speaker として講演を行ったが、多くの研究者から日本のケイ素研究成果をもっと知りたいという要望が寄せられた。これは日本のケイ素に関する研究成果のほとんどが日本語で書かれているため、外国の研究者にとってアクセスしにくいという状況を反映したものであった。会議から帰国後、ケイ酸研究の第一人者で、恩師である高橋英一先生と相談した結果、日本のケイ素研究成果を世界に紹介すべく、表記のような本を執筆し、Elsevier Science から出版されることとなった。

本書は 9 章と 4 つの付録から構成されている。各章のタイトルは以下の通りである。(1) Brief history of silicon research in Japan, (2) Silicon sources for agriculture, (3) Silicon in soil, (4) Effect of silicate fertilizer application on paddy rice, (5) Silicon-accumulating plants in the plant kingdom, (6) Silicon uptake and accumulation in plants, (7) Functions of silicon in plant growth, (8) Summary and prospect of silicon research, (9) Silicon research in the world.

また付録として、(I) SiO<sub>2</sub> concentration of 380 river water, (II) Survey on SiO<sub>2</sub> contents in flag leaf of rice plants, (III) Si content of vascular plants, (IV) Si content of barley grain が記載されている。

ケイ素は植物生理学的な観点からまだ必須元素として認められていないが、日本ではイネの健全な生育と安定した収量に不可欠なため、農業上の必須元素と位置づけられている。他の元素とは異なり、植物の生育に対するケイ酸の効果は二つの特徴がある。一つはケイ酸の効果は植物の種類によって異なる点であり、一般的にケイ酸を多く集積する植物において効果が顕著である。二つ目の特徴は生育条件によってケイ酸の効果は異なることであり、ストレス（生物的ストレスと非生物的ストレスを含む）条件下でケイ酸の効果が大きく現れる。またケイ素は唯一過剰に存在しても障害のない元素としても知られている。したがって、ストレス条件下でケイ酸をより多く集積すれば、植物の生育に対するストレスの影響が軽減される。しかし、自然界では、土壤中に豊富なケイ酸が存在しているにもかかわらず、ケイ酸を集積できる植物の種類はごくわずかであり、ケイ酸を集積できないため、ケイ酸の有益効果を受けられずにいる植物が多数存在している。ケイ酸を集積できない原因は根の吸収能力の違いにあるとされている。現在筆者の研究室ではイネのケイ酸吸収機構を解明するために、ケイ酸吸収欠損変異体を用いてケイ酸吸収に関与する遺伝子のクローニングを行っている。近い将来に、遺伝子組み換えで多くの植物がケイ酸を集積でき、複合ストレスに強くなることを夢見ている。

最後に表記の本に関する詳細の情報は以下の通りである。この本の購入をご希望の方は根研究会会員に限って、著者割引で提供させていただきます。詳しくは [maj@ag.kagawa-u.ac.jp](mailto:maj@ag.kagawa-u.ac.jp) までお問い合わせください。

Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan

Jian Feng Ma and Eiichi Takahashi

24.5x17.5 cm. 281 pp.

Elsevier Science (Amsterdam), 2002

## 植物の根と細胞の水透過性に関する研究

宮本直子

東京大学アジア生物資源環境研究センター (unmiya@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

作物の生育にとって水は不可欠であり、体内水分が欠乏すると成長や光合成の低下などによって収量の低下を招く。植物は蒸散によって失った水を直ちに補う必要があるため、体内水分の維持には吸水を含む体内における水輸送が重要となる。植物体内には水輸送に対して様々な抵抗部位があるが、とくに根の抵抗は遺伝的性質と環境条件の影響を大きく受けることから重要であると考えられている。根の抵抗には水の透過性が関係し、土壤水分が減少する過程では、さらに根系の広がりや密度も大きく関係してくる。根の水透過性は根の構造と根を構成する細胞の水透過性にも着目して検討する必要がある。さらに細胞の成長は吸水を伴うので、根の成長反応の解析には成長組織や細胞の水透過性からの検討も不可欠となる。本研究はこのような視点からイネの根の吸水特性を根の組織構造に着目しつつ解析し、さらに根系の広がりや方向に影響する根の水分屈性に着目してエンドウの根の成長を細胞の水透過性に基づいて解析したものである。

## 1. イネの根の吸水特性

イネは灌水状態に生育しても蒸散が盛んな日中に水分欠乏にあうことが知られている。そこで水耕栽培したイネ幼植物の冠根の水透過性を root pressure probe を用いて解析した。その結果、水が根の内外の浸透ポテンシャル差に基づいて移動するときの根の水透過性はトウモロコシなど他の畑作物とほぼ等しく、イネは破生通気組織を発達させても細胞を横切るシンプラスト経路の水透過性には大きな影響を及ぼさないことが示された。しかし、水が根の木部圧の変化に基づいて移動するときの水透過性はトウモロコシなどに比較して著しく小さく、イネではアポプラスト経路の水の流れが大きく制限されていることが明らかとなった。この結果は根系全体を pressure chamber の中に入れて加圧して求めた根の水透過性からも確かめられた。さらにアポプラストにおいて抵抗となり得る部位としてはスベリンが蓄積した内皮が有力な候補であることが形態観察から推察された。併せて、イネの根はトウモロコシなどに比較して溶質の透過性と反射係数が小さいことも大きな特徴であることが示された。これらの結果から、イネが灌水状態でも蒸散が盛んな日中に水ストレスが起こるのは、蒸散による吸水のような受動的吸水過程における根の水の透過性が著しく小さいことが要因の一つであることが示され、イネの根はこれまでに検討されてきた他の植物に比較して非常に異なる特徴をもつことが明らかとなった。

## 2. 伸長細胞の水透過性

根の屈性反応は伸長組織における細胞の偏差成長によって引き起こされる。吸水に着目すると成長速度は細胞の水透過性と growth-induced water potential (水供給部と成長細胞の水ポテンシャル差) との積としてあらわされる。根端に水ポテンシャルの異なる寒天片をつけて水分屈性を誘導する実験系において、cell pressure probe を用いて伸長細胞と成熟細胞の水ポテンシャルと水透過性を直接測定して比較した。その結果、伸長速度の異なる根の両側には growth-induced water potential には違いはなかったが、細胞の水透過性は伸長速度の大きい細胞において有意に大きかったことから、根の水分屈性における細胞の伸長速度の相違は細胞の水透過性の違いによって生じていることが明らかとなった。

以上の研究から、根全体あるいは個々の細胞とレベルが大きく異なっても様々な場面で水透過性は大きな問題となることが明らかとなった。近年研究が進んできている水チャンネルタンパク質の関与などを今後検討することによって、根における水透過性の調節の実態についてさらなる知見が得られると考える。

## 養液栽培におけるトマト根系の環境応答に関する研究

中野有加 (野菜茶業研究所果菜研究部 yuka88@affrc.go.jp)

各養液栽培方式の根域環境はそれぞれに特徴を有しているが、作物生育の面から十分には評価されておらず、特に、根域環境が根系に及ぼす影響について比較検討した研究はほとんどない。本研究では、湛液水耕と保水シート耕という異なる根域環境条件をもつ二つの養液栽培方式を取り上げ、各方式において発達する特徴的な二つの根系、すなわち水中根と湿気中根に焦点を当てた。

はじめに、トマトの養液栽培で問題となりやすい、酸素および温度ストレスに対する反応を調べた。まず、トマト幼植物を水中根（通気なし、あり）あるいは湿気中根を形成させて栽培し、根系の外部・内部形態を観察した。根系構造のうち、総根長および総表面積には処理による有意差はみられなかったが、フラクタル次元は湿気中根区で増加した。また、水中根通気なし区では根の中心柱に破生細胞間隙が観察された。湿気中根区では、根毛の発生数が多く、内部組織にリグニン沈着がみられた。このような形態変化は、低酸素ストレスと水分ストレスに対するそれぞれ適応的な応答と考えられた。

次に、17℃、27℃、33℃および45℃の根域温度処理を短期間与え、根の養水分吸収速度を経時的に測定した。根系当たりの硝酸吸収速度は17℃～33℃までの処理においては両方式間に有意な差異はみられなかったが、45℃処理では湿気中根で水中根よりも大きかった。つづいて、長期間にわたる生育温度（15℃、25℃および35℃）の影響を調べた結果、低温および高温で湿気中根が水中根よりも植物体の成長は旺盛となった。出液速度、側根長、根表面積およびフラクタル次元は成長と相関が高かった。湿気中根は不適温度条件下においても根系の拡大・発達と生理活性を維持することができ、そのために地上部成長の抑制が水中根と比べて小さかったものと考えられた。

養液栽培においては養水分の供給速度が根の機能に影響を与えることが観察されている。そこで、培養液の流動速度が根の養水分吸収を通じて植物体の成長に与える影響をモデル実験で評価した。液の攪拌速度の増加に伴い、根の呼吸速度、水分および<sup>15</sup>N吸収速度が増加した。実際の栽培条件下においても、流動速度が大きいほどトマトの生育が旺盛となった。したがって、養水分吸収に影響を及ぼす根表面の「根面境界層抵抗」の存在が推察された。

水中根と湿気中根を併せもつ根系を形成する栽培方式を提唱し、その効果を検証した。湿気中根は単位根重当たりの呼吸速度および<sup>15</sup>N吸収速度において水中根よりも小さく、植物体の他の部位に対してN供給を行うソースとしての性格だけではなく、Nのシンクとしての性格を水中根と比べて強く有していることが明らかとなった。次に、同一個体内の湿気中根と水中根の割合を変化させた場合の果実生産への影響を明らかにするため、根域の湿気部/水中部比率を5段階に変えて収穫期まで栽培した。湿気中根と水中根を併せもつ根系の場合は、それぞれの根の低酸素および水ストレスが全体として緩和・相殺され、旺盛な生育を示し、その結果、果実収量の増加をもたらすことを明らかにした。

以上の一連の実験を通して、養液栽培においても根系は大きな可塑性を示し、根域環境ストレスに対して適応性を発揮していることを明らかにした。本研究で得られた知見によって、養液栽培技術に作物の環境ストレス適応性を生かした技術を導入し、根域ストレスに強い安定的な生育と高収量を両立させる新しい栽培技術を確立することが可能と考えられる。