

第18巻 第4号 2009年12月

ISSN 0919-2182

Root Research

根の研究



根研究会 (JSRR)

Japanese Society for Root Research

第18巻 第4号：2009年12月

巻頭	会員の皆様へ	129
	根研究会会長退任のご挨拶	130
ミニレビュー	不耕起栽培における根の健康と土壌病害の発生生態	
	福井 糧	133
	アルファルファの生育と根系発達におよぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響	
	廣瀬大介	141
報告	7th ISRR Symposium 'Root Research and Applications' (RootRAP) 参加報告	
	二瓶直登	149
	牧田直樹	150
	福澤加里部	152
	中野愛子	153
	安達祐介	154
	松本 晃	156
	山本梨加	157
	独立行政法人農業環境技術研究所 国際ワークショップ	
	「植物機能を利用した食品中重金属低減の開発」開催報告	
	荒尾知人	158
	「農業におけるメタゲノミクスの展望」開催報告	
	藤井 毅	159
	第31回根研究集会に参加して	
	安彦友美・山内卓樹	161
	第31回根研究集会発表要旨	162
情報	第32回根研究集会のお知らせ	203
	カレンダー	207
	「苺住」海外渡航支援のご案内	208
	根の研究18巻総目次	210

会員の皆様へ

事務局からのお知らせ

1. 役員の交代について

当研究会は、1月が年度初めで、2年=1期ですので、2010年1月から2011年12月までが、新しい期となります。前号で公示したとおり、新会長は巽二郎会員(京都工芸繊維大学・教授)です。研究会創立20周年に向けての節目の期となりますので、会員の皆様のご協力をよろしくお願いいたします。

今期会長の唐原一郎さんの挨拶を今号に、巽新会長の挨拶を次号に掲載いたします。また、次号では、副会長・評議員等の役員もご紹介する予定です。なお、事務局の連絡先は、来期も現在と同じです。

2. 会費納入のお願い

会費の納入状況は、この会誌をお送りした際の宛名ラベルの紙に記載してあります。

2010年度の会費の納入をお願いいたします。本号に郵便振替の用紙が同封されています。銀行口座への振込や請求書等の書類をご希望の方は、事務局(neken2010@jsrr.jp)までお知らせ下さい。

2008年・2009年の会費を未納の方は、2010年分と併せて納入をお願いします。会費の納入状況は、この会誌をお送りした際の宛名ラベルに記載してあります。また、2008年度からの2年分を未納の方には、確認の文書を同封しました。いずれもご不明の場合は、遠慮なく事務局までご連絡ください。

・郵便振替口座(本号に振替用紙が同封されています)

口座名義(加入者名):根研究会、口座番号:00100-4-655313

・年会費: 個人3,000円、団体8,000円 [年度は1月-12月です・2010年もこれまでと同額です]

当研究会の財政状況(一般会計)は、単年でみると赤字の状況です。会費の未納が増えると、その分、赤字が拡大します。運営費の節約には努めていますが、会誌発行などの活発な活動を維持するのに必要な財源ですし、会費を値上げしないで済むように、会員各位の会費納入へのご協力をお願い致します。

3. 研究集会の予定

第32回根研究集会:中央農業総合研究センター(つくば市)・2010年4月20日(火)・21日(水)

日程が変わりました。詳細は、本号に掲載の案内をご覧ください。総会もあわせて開催します。

第33回根研究集会:兵庫県立大学 2010年秋または初冬

4. 2009年度の根研究会賞の授賞報告

前号でご報告した学術功労賞(仁木輝緒会員)、学術奨励賞(趙仁貴会員)、学術特別賞(川島長治元会員)の授賞式と受賞記念講演を第31回根研究集会(11月21日、秋田市)にて執り行いました。公務のため来日できなかった趙会員については、かつて学位論文の指導をされた一井眞比古会員(香川大学・学長)から、ご紹介とご挨拶を頂き、あわせて、ご本人からの挨拶文を会場で配布しました。

5. 根研究会若手会員に対する「苅住」海外渡航費等支援

応募時40歳までの会員を対象とする渡航支援は、2010年4月末〆切(同年7月-12月または2011年1月-6月の渡航)を募集中です(2011年渡航分は、次回の2010年10月末〆切での応募もできます)。なお、2009年10月末〆切分については、応募がありませんでした。

根研究会事務局

〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学大学院農学生命科学研究科 栽培学研究室
根研究会事務局 阿部淳 E-mail: neken2010@jsrr.jp Tel/Fax 03-5841-5045

2010年1月以降の事務局も所在地は同じです。旧来の2009年度用メールアドレス(neken2009@jsrr.jp)も、当面使用可能です。

会誌に関する連絡先 『根の研究』: editor2010@jsrr.jp 『Plant Root』: editor2010@plantroot.org

ウェブサイト 根研究会: <http://www.jsrr.jp/> 『根の研究』: <http://root.jsrr.jp/> 『Plant Root』: <http://www.plantroot.org/>

根研究会会長退任のご挨拶

2009 年は、前政権に組まれた補正予算、現政権の元で行われている行政刷新会議の事業仕分けと、科学を取り巻く状況もめまぐるしく動いた一年でした。私も科学に携わる立場から、仕分け人の発言の一部には失望させられる一方で、そこに垣間見える国民の意識、政権が変わったという現実、科学者の説明責任、そして科学教育の重要性等々、色々と再認識させられました。またそれとともに、厳しい財政状況の中で、人材育成を含めて、先人の築いてくれた現在の日本における科学の基盤を、科学立国を目指す日本のためにどう守っていくか、私達の責任が重大であると感じました。

それはさておき、私の任期中には、根研究会のメインエンジンである執行部の村上副会長、中野副会長、阿部事務局長、犬飼「根の研究」編集委員長をはじめとして、評議員、「根の研究」編集委員、監査の皆様方、また任期中に根研究集会を実施して下さりました、山口・千葉・足寄・秋田の実行委員の皆様方、学会誌「根の研究」に原稿をお寄せ下さりました著者の皆様方など、大変多くの方々に研究会を支えていただきました。まずは、これらの方々に、この場をお借りしてお礼を申し上げたいと思います。本当にどうもありがとうございました。次期執行部にも留まっていただく村上副会長・阿部事務局長には、今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。

私の任期中の大きな目標としましては、根研究会の国際誌「Plant Root」を軌道に乗せるということでした。根の研究のロゼッタストーンとなって人類の歴史に残るという遠い目標を考えると、まだまだ出帆（もとい出版？）間もないわけですが、とにかくえいやと打ち上げた第一期（2006-2007）を経て、ようやく軌道に乗ったと思いきや、あっという間に第二期（2008-2009）も終わりを迎えました。Impact Factor 申請という目標にはまだまだですが、おかげさまで Plant Root という世界の根の研究者のホームグラウンドができ、根研究会から世界へ情報発信する場としての役割、人と人をつないで根の研究のためのコミュニティを世界に広げる機能などは、着実に果たせていると思います。「Plant Root」のためには、根研究会会員の方々も Editorial Board や Steering Committee として加わって下さっていますし、表には出ない多くの会員の方々が Reviewer として貢献して下さいます。特に Managing Editors チームの皆様には、雑誌の心臓部として多大なご貢献をいただけてきました。また会員の皆様には著者として、読者としても支えていただけています。私は編集委員長も兼務しているため、こういったご貢献の様子を直接拝見しておりますが、普段、関係者の皆様になかなかきちんとお礼を述べることもなく、大変失礼いたしております。そこで、この場をお借りして、編集委員長としてのみならず根研究会会長と

しても、第二期も「Plant Root」を支えてくださった皆様方に、感謝申し上げたいと思います。大変ありがとうございました。

根研究会は巽二郎新会長の元で新体制に入る一方、「Plant Root」の方は私自身が今しばらく Editor in Chief を継続します。負担の大きい Managing Editors チームは一部の新メンバーを迎え徐々に新体制に移行していきますが、次期も引き続き留まっていただく Managing Editor の皆様方や、Steering Committee, Editorial Board の皆様方には、今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。また、「Plant Root」をより高い軌道に乗せるために、ぜひ会員の皆様にどしどし原稿をお寄せいただきたいと思います。

巽二郎新会長は 20 周年記念事業をはじめとし、会員の皆様方がより元気になる仕組みを色々と考えて下さっています。2011 年にはスロバキアでの ISSFR, 2012 年にはスコットランドでの ISRR など、国際学会も次々近づいて参ります。また 2010 年の国内の研究集会は春のつくば、秋の姫路と続きます。ぜひ若手や同僚をお誘い合わせの上、また、これまで集会に参加されたことのない会員の皆様は、どうぞ一度足をお運び下さい。皆様方には引き続き研究会の活動への積極的なご参加をお願いし、以上をもちまして、会長として最後のご挨拶とさせていただきます。

唐原一郎

不耕起栽培における根の健康と土壤病害の発生生態

福井 糧

宇都宮大学農学部生物生産科学科

要 旨: 連年の耕起による大規模な土壤流亡／風亡に対処するために米国で実践され始めた不耕起／省耕起栽培は、当初こそ様々な問題が障害となって適用する生産者も少なかったが、現在では近代農業の諸問題を解決する一方で、生産性を改善する持続的な栽培様式であると認識されつつある。一般に、不耕起／省耕起では地温が低下して土壤水分が増加するため、*Pythium* 属菌や *Rhizoctonia solani* などによる根の病害が多発するが、管理された輪作や適正な農薬施用により発病を効果的に抑制し、同時に農薬の使用と資源／資本の投入を削減することが可能である。また作物残渣が蓄積して土壤有機物が増加するため、栽培様式それ自体が土壤病害に対して抑止的に作用する場合があるほか、混作や混植植生がもたらす土壤微生物の多様化が病害を抑制する事例もある。今後更に病害管理技術の研究が進展して「根の健康」が確保されることにより、近い将来多年生の穀物品種が育種により実用化され、実質的に不耕起／省耕起で栽培されるであろう 21 世紀の農業において、必ずしも耕起を伴わない栽培体系とその理論は重要な役割を担うものと期待される。

キーワード: 土壤病害、抑止土壤、生物防除、持続的農業。

Root health and ecology of soilborne diseases under conservation (no-till) farming systems : Ryo Fukui
(Department of Bio-productive Sciences, Utsunomiya University)

Abstract: Conservation tillage systems including no-till practices, originally developed to help reduce soil erosions caused by intensive tillage in the U.S., are now being recognized as the futuristic methods of sustainable crop production with more growers practicing in many countries. In general, soil cover with crop residues left undisturbed in the field increases soil water retention and lowers soil temperature, enhancing root diseases caused by *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, and other soilborne pathogens. Nonetheless, it is highly feasible to attain suitable yields with lower inputs and pesticide use while suppressing root diseases with crop rotations and/or proper pesticide applications. Increased soil organic matters and diversified microorganisms in the soil also help suppress root diseases in such systems or mixed cropping. Root health in undisturbed soils is expected to play a key role in the future crop production, where new perennial cultivars of cereals will be grown virtually with no or limited tillage.

Keywords: soilborne disease, suppressive soil, biological control, sustainable agriculture

1. はじめに

「根の健康」は、作物の根が土壤中で縦横無尽に発達して、土壤水と無機養分を獲得する最大限の機能を左右する上で重要である。健康な根に支えられた作物は、雑草との競合や乾燥によるストレスに対する耐性に優れるとともに、高収量はもとより、より多くの作物残渣をもたらすため、土壤有機物の増加と蓄積をも促進する。しかし、このように作物生産に不可欠な「根の健康」を脅かす制限要因が、根の機能を阻害もしくは破壊する土壤病害である。そのため前作物に感染した病原菌の繁殖体を含み得る作物残渣は、次作の作付けの前に反転耕起 (moldboard plowing) によって土壤に鋤き込み、分解してしまうことが多くの作物栽培で一般化

し (Cook 2006)、特に我が国では「常識」となった。また病原菌の蓄積による病害の増加は、同じ宿主を連続して栽培する単作体系 (monoculture) で顕著であることが多い (Shipton 1977) ことから、異なる作物を栽培することにより、土壤の自然な衛生 (sanitation) 機能を利用して病原菌の繁殖体数を減少させる輪作が普及した。

しかしこれに対し、21 世紀における今後の地球環境を先見し、農業生産に内在する諸問題の改善を図りながら持続的な作物生産を可能にするため、近年多くの国で実践されている上述の「常識」を覆すような先駆的な栽培体系が、不耕起 (no-till) または省耕起 (conservation tillage) 栽培と呼ばれる栽培法である (Blevins and Frye

1992, Carter 1994)。不耕起体系による栽培面積では土壌流亡による被害が大きい米国が最も多く、次いでブラジル、アルゼンチン、カナダ、そしてオーストラリアの順に続くが、今のところ世界全体では僅か 7%の耕作地がこの栽培方式により耕作されているに過ぎない (Huggins and Reganold 2008)。また日本では土壌流亡の被害が少ないので、これらの栽培方式は殆ど実践されておらず、そのため我々にとって馴染みの薄い栽培体系である。しかし、我が国の食料の多くは上述した国々に依存していることを考えると、我々には疎遠な他国における農業情勢だと無関心で済まされることではないだろう。そこでこのレビューでは不耕起／省耕起栽培に着目し、それに伴う土壌病害の発病生態の特徴と、これらの栽培体系に適応した新しい病害管理技術について、近年の研究報告を取り交えて概説することにした。

2. 不耕起栽培に見る農業の将来像

不耕起／省耕起栽培は、1837 年における米国 Illinois 州の John Deere 氏による鉄製の鋤 (steal plow) の開発と、その後 20 世紀初頭における耕運機と耕作機械の急速な普及により、1930 年代に “Dust Bowl” と呼ばれる大規模な土壌流亡／風亡が米国で生じた (Crovetto 1996) 結果、当初その被害に対処するために実施された (Huggins and Reganold 2008)。不耕起栽培では土壌の耕起を全く伴わないため、播種の際に作物残渣に覆われた圃場の表面に筋状の溝を掘って直播 (direct-seed cropping) するのが一般的で (Cook 2006)、そのため直播専用の播種機を装備する必要がある。一方省耕起栽培は、表土の 30%以上を作物残渣で被覆した状態にして部分的に耕起する方式で、その具体的な方法によって chisel plow、ridge till、strip till、reduced till など様々な様式があるが、何れの場合も地表の 30%を被覆することにより、失われる表土の量を 20～50% にまで減らす効果がある (Brady and Weil 2000, Huggins and Reganold 2008)。このような土壌流亡を抑止する効果に加え、不耕起／省耕起栽培では耕運機の運行回数が減るためディーゼル油の消費が減少し、それに伴い圃場整備のための労働力も節減できるという利点もある。実際ウクライナや米国ワシントン州におけるコムギの不耕起・直播栽培では、徹底した反転耕起を伴う慣行栽培に比べてディーゼル油の消費は 1/4 にまで減少した (Cook 2006) ように、生産コストの削減による農業経営改善の効果は大きい。元々不耕起／省耕起栽培は、筆者が修士

課程で在学したワシントン州立大学と、隣接する USDA の研究所などが中心となり、1950 年代から試行錯誤を繰り返して研究を重ねた結果確立した栽培方式である (Cook 2007)。その後米国において普及が進み、現在では全米の 40%以上の生産者が実践しているほか、比較的小規模で集約的な生産方式が多いため、これまで実践する生産者が少なかったカリフォルニア州においても経営改善の効果が近年着目され、奨励されている (Jackson et al. 2002, Meadows 2006)。このように不耕起／省耕起栽培は、米国における作物栽培の主流となりつつあり、十数年後には全米の 3/4 以上の生産者が不耕起栽培か、もしくは何らかの省耕起の方式で作物を栽培しているものと推定されている (Brady and Weil 2000)。

不耕起／省耕起栽培の効能については、上述した土壌流亡の防止や燃料の節減の他に、土壌の水分保持力が向上することや、有機物が土壌の表層に蓄積するため可溶ミネラルが減少し、同時に土壌の団粒構造が改善する (Brady and Weil 2000) こと等もあるが、これらに加え近年着目されている効果が、発達した作物の根が CO_2 を土壌に備蓄することによる炭素の隔離作用 (carbon sequestration) である (Kumar et al. 2006)。土壌に備蓄される炭素は、主に植物残渣に由来する土壌有機物が腐植に変化して土壌に蓄積する作用と、根から滲出する有機物や根に由来するその他の有機物 (根冠細胞や自己分解する根毛／表皮細胞など) が土壌微生物によって利用され、微生物の細胞を構成する有機物質として蓄積する作用によって増加する。これらの作用によって全世界の土壌中に備蓄される炭素の量は、樹木を含む植物体に備蓄されている炭素の量 ($6.5 \times 10^{17} \text{ g}$) よりも多く、大気中に存在する炭素 ($7.5 \times 10^{17} \text{ g}$) の 2 倍量に相当する $1.6 \times 10^{18} \text{ g}$ に達すると見積もられている (Dakora and Phillips 2000, USEPA 1995)。従って元々存在した植生を破壊し、作物生産のために耕運機で耕起を繰り返して有機物の分解を促進する耕起栽培は、このような土壌の機能を低下させ、より多くの CO_2 を大気中に放出する結果をもたらすのに対し、不耕起／省耕起栽培は土壌の有機物を増加させ、更には根の発達を促進して根系を保存するため、根による炭素の隔離作用を増幅する効果がある (Kumar et al. 2006)。

またこの根による炭素の隔離作用に関連して、21 世紀の作物生産に大きな変革をもたらすと予想される先駆的な試みが、コムギやトウモロコシなどの主要な一年生作物の多年生化である (Cox et al. 2002, Glover et al. 2007)。この育種目

標は、施肥や耕起を施さなくても毎年 3~4 m に達する多年生草本の植物群生に発達して、多量の炭素を同化する Prairie の植生を復元するため、多様な多年生作物品種を同じ圃場で連続して栽培することで、耕作地の拡大に伴って消失した Prairie の生態系を模倣／再現しながら農業生産を行う目的で考え出された。特に多年生草本の根系の生長は旺盛で、冬コムギの根は深くとも地表下 2 m 位にまでしか発達しないのに対し、多年生の wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) の根は深さ 4 m 以上にまで到達し、その地上部とは比較にならない位大きく発達する (Cox et al. 2006)。それ故に多年生草本は、一年生作物に比べて 2 倍以上の sequestration 効果を生み出すと考えられている (Glover et al. 2007)。また多年生草本の地下部は冬の間死滅せずに休眠しており、春には再び出芽するため、多年生作物の栽培様式は必然的に不耕起栽培であり、残存する根の作用により土壌流亡を防止する効果も絶大であることは言うまでもない。

ただし一方で、多年生作物の育種における最大の課題は、多年生の野生種はその大部分の炭素同化産物を根と茎葉部に分配するため、種子（収獲物）に分配される同化産物が小さく、種子の数も少ないことである (Cox et al. 2002, 2006)。しかし野生種の栽培品種化 (domestication) や種間／属間交配 (wide hybridization) など、一年生作物の育種に用いられた手法は多年生作物の育種にもそのまま適用できるため、一年生作物の優れた既存の品種との交配を行うことで、交雑系統における種子の生産量を増加させることが可能だと考えられている (Glover et al. 2007)。そのため多年生作物の育種に携わる研究者は、今から 25~50 年後には高収量の多年生作物が世界の広い地域で栽培されていると予想している。実際世界で栽培されている 13 の主要一年生作物のうち、10 作物については多年生野生種との交雑が可能であり、現在米国や豪州では多年生のコムギ、トウモロコシ、ソルガム、アマ、ヒマワリなどの育種が行われ、フィリピンの IRRI でも多年生のリクトウ（陸稻）が育種されている。施肥や耕起を行わなくても毎年収獲物を稔らせるトウモロコシ畑などは想像を絶する光景であるが、そのような栽培方式が実現すればそれは正しく究極の不耕起栽培であり、そしてその場合の根の健康管理については、やはり一年生作物の不耕起栽培に関する知見や経験が基盤となるに違いない。

このように不耕起栽培は、土壌流亡の防止という本来の目的だけに止まらず、21 世紀におけ

る地球環境と農業生産の未来を占う栽培体系ではあるものの、実践するにあたっては直面する問題も多く、減収はもとより、場合によっては収穫に至らないリスクさえ伴う (Glover et al. 2007)。従って、耕起栽培からの転換期には多くの試行錯誤に基づく経験の蓄積が必要で、このことは日本の生産者が実践する上でも大きな障害となるだろう。例えば除草剤の的確な使用は不可欠となり、地表に残渣が残存することにより発生する害虫の種類と程度も変化する。また表層に蓄積する有機物が窒素を含む無機養分を不溶化するため、最初の数年間は施肥を増強する必要があるほか、地表の温度が低下するので寒冷地では暖地に適した作物の栽培が困難になる (Brady and Weil 2000)。更には土壌水分の増加と、地表温度の低下により作物の感受性が增大する効果が重なって、土壌病害の発生生態も変化し、通常では大きな被害をもたらさない特定の病原菌による病害が顕著になる傾向がある (Cook 2006)。これらのデメリットに加え、不耕起栽培を取巻く環境は、その体系がゆえに連作や輪作／混作、そして緑肥／被覆作物の栽培、更には有機物の施用などがもたらす作用にも深く関係するため、これら多くの作用を総合的に理解し、バランスよく管理する必要がある。そこで以下では、不耕起栽培に伴いがちな土壌病害の発生生態とその防除／管理のための方策、そして関連する混作や栽培植生がもたらす作用について記述することにした。

3. 不耕起栽培における土壌病害の発生生態と病害管理技術

不耕起栽培において減収の要因となる主な土壌病害は、早くから不耕起／省耕起による栽培が行われたコムギを例にとると、*Pythium* 属菌及び *Rhizoctonia solani* による根腐病や、*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* による立枯病である (Cook 2006)。これらの病害が多発する理由は、上述したように不耕起栽培では土壌の温度が低下する一方で土壌水分が増加することに加え、残存する作物残渣が病原菌の栄養源となるからであり、特に不耕起直播栽培では作物残渣が堆積する位置に播種するため影響を受け易い (Paulitz et al. 2002)。この問題に対処する比較的容易で有効な方法は、最低一作の輪作作物を間に栽培すること (2-year rotation) であるが、輪作作物からの収益は主作物より劣る場合が多い。

ところが不耕起直播栽培が実践された初期 (1960~70 年代) には、コムギの連作による植

物の生長不良は、土壤表層に堆積するコムギの籾殻 (chaff) から放出される phytotoxin による allelopathy 作用が原因であるとの学説が優勢 (Elliott et al. 1978, Lynch et al. 1981, McCalla and Norstadt 1974) で、また窒素を初めとする無機肥料成分が不溶化する作用も障害となって、不耕起栽培は広く普及しなかった。しかしこの状況に終止符を打ち、原因の究明とその解決の糸口となったのが、熱や燻蒸剤による土壤消毒を適用した研究であった。Cook and Haglund (1991) は土壤を methyl bromide で燻蒸することにより、残存する作物残渣の有無に拘らずコムギの収量が 50% 増加することを実証し、その後減収の原因は作物残渣の phytotoxin ではなく、雑草や雑草化したイネ科作物 (volunteer cereals) に寄生して生存する *R. solani* AG-8 や *R. oryzae* による感染であることが判明した (Ogoshi et al. 1990, Paulitz et al. 2002, Weller et al. 1986)。また不耕起土壤では、作物残渣を利用して *Pythium* 属菌の活性も増加し減収の原因となるが、この病原菌による影響についても、コムギ残渣を土壤に投入するしないに拘らず、熱処理により土壤を部分滅菌することでコムギの生長が顕著に増大したことで明らかとなった (Cook et al. 1990)。更には 1,3-dichloropropene (Telone®) と chloropicrin (Telone C17®) の効果を不耕起土壤で比較した圃場試験の結果、双方の燻蒸剤が土壤微生物の死滅に伴う土壤窒素の増加 (nitrogen flush) をもたらしたが、*Pythium* 属菌を阻害する後者のみがコムギの生長を促進したことから、不耕起／省耕起栽培におけるこの病原菌の重要性が改めて示唆された (Cook 1992)。

一方 *G. graminis* var. *tritici* に関しては、病原菌の宿主特異性が高く、また圃場条件下では耐久胞子を殆ど形成しないことから、このコムギ立枯病は予めから 3 年単位の輪作により効果的に防除されていたが、圃場によってはコムギの連作により当初は発病が激化するものの、その後連作しても年毎に発病が減退する現象 (take-all decline) が認められ (Weller 1988)、「抑止土壤」として認識されるようになった (Hornby 1983, Mazzola 2004, Weller et al. 2002)。後にこの現象は、コムギの連作により特定の *Pseudomonas fluorescens* が根圏で増殖して優勢種となり、立枯病菌を阻害する抗生物質 2,4-acetylphloroglucinol を産生することによる拮抗作用に起因することが示された。これに関係する一連の研究は生物防除の先駆的な事例となり、すでに多くの総説 (Cook 2003, Cook 2007, Weller 1988, Weller et al. 2002) で紹介されている。

このように、不耕起／省耕起栽培における土壤病害の重要性が広く認識されるようになり、株間を広くして土壤水分を低く調節するための paired row (Cook et al. 2000) などを初め、それぞれの作物と気候に適応した様々な作付体系／様式が実践されるようになったが、土壤病害を管理する上で最も効果的である方法はやはり輪作であり、そのため近年では輪作体系に基づく様々な不耕起／省耕起栽培の病害抑止効果がコムギ以外の作物でも検討され、その原理の究明が進んでいる。例えば、2 年単位の輪作と 3 年単位の輪作が主作であるジャガイモに発生する土壤病害に及ぼす影響を、省耕起栽培と慣行の耕起栽培の場合で比較した圃場試験の結果、*R. solani* によるそうか病 (canker) または黒あざ病 (black scurf)、それに *Phytophthora erythroseptica* による緋色腐敗病 (pink rot) の発生と程度は 3 年単位の輪作栽培で低く、更に *Fusarium* spp. による乾腐病 (dry rot) と *Helminthosporium solani* による銀か病 (silver scurf) による被害は、3 年単位の輪作を省耕起栽培で行った場合に最も少なかった (Peters et al. 2003)。そしてこの場合、根の組織内から分離した細菌群が示した病原菌に対する in vitro での阻害作用は、3 年単位の輪作で省耕起栽培したジャガイモで最も大きかったことから、複数に及ぶ病害の抑制は、輪作と省耕起栽培により土壤微生物環境が変遷し、病原菌に拮抗作用を示す多様な内生細菌が根に定着して優勢になったためであると考えられた。また *Sclerotium* (= *Corticium*) *rolfsii* によるトマトの白絹病 (southern blight) の発生を慣行耕起栽培、長期にわたる有機栽培、そして省耕起栽培とで比較した研究においても、慣行耕起栽培で最も発病が多く、そしてこの場合も発病は土壤微生物コミュニティの変遷とその全体の構成に大きく左右され、特に優勢種となった *Trichoderma harzianum* の役割が、有機栽培や省耕起栽培における発病抑止に密接に関連することが示された (Liu et al. 2008)。このように不耕起／省耕起栽培は、恐らくは土壤有機物が増加する作用により、土壤微生物叢を特定の方向に誘導する効果をもたらす場合が多く、そのためその変遷の過程をよく理解して適切な栽培体系を適用することによって、土壤病害を助長することなく逆に発病を抑止し、場合によっては病害を効果的に管理することが可能であることをこれらの事例は示している。

またこのような不耕起／省耕起栽培の病害抑止効果は、土壤病害だけに止まらず、地上部の

病害にも作用する場合もある。Monfort (2004)らは、*Cercospora arachidicola* (= *Mycosphaerella arachidis*) によるラッカセイの褐斑病 (early leaf spot) は、慣行耕起栽培よりも省耕起栽培 (strip till) の場合で発生が少なく、一方標準の散布スケジュールで農薬を散布した場合と比較して、散布間隔を長くしたスケジュールで農薬を散布した場合に発病が多いことを報告し、その結果長い農薬散布間隔がもたらす負の作用は省耕起によって相殺されるため、省耕起栽培では慣行耕起栽培よりも少ない農薬散布で同等の発病抑制効果が得られることを示した。この事例は、省耕起栽培が農薬や化石燃料の使用に伴う環境負荷を低減し、同時に生産コストを節減する効果に優れた栽培方式であることを如実に示している。

このように不耕起／省耕起栽培は、それ自体に化学／生物農薬のような病害を抑止する直接的な作用は期待できないものの、輪作や農薬の使用などを適切に組み合わせることによって、極めて高い農業生産性を可能にする栽培方式なのである。すなわち、病害を抑止することによって実際得られる収量 (actual yield) を改善する効果では小さいものの、生産コストや環境負荷を低減するためのコストを差し引いた後の、生産者にとって収益となる収量 (affordable yield) を増加させる効果は大きいのである (Cook 2000)。実際ワシントン州における複数の冬／春コムギ畑で、1990年代の終りから数年にわたって行なわれた圃場試験の結果、メタラキシル剤などで種子を処理して *Pythium* 属菌による感染を抑制するなどの適切な措置を講じた場合、不耕起で直播栽培した連作コムギの収量は、燻蒸処理した土壌で栽培したコムギの収量 (attainable yield) の8割以上にまで達した (Cook et al. 2002)。冷涼なワシントン州で特に冬コムギを単作で連作したことを考えると、この収量値は実は驚くべき数値である。またカリフォルニア州では、その後省耕起栽培の経済性を慣行耕起栽培と比べて科学的に評価する圃場研究がなされ、その結果実際の収量では劣るものの、純利益では有機物を付加的に投入した場合の省耕起栽培が最も優れることが示された (Jackson et al 2004)。そしてこの結果に基づき研究報告は、病害と収量低下の問題を軽減するには、有機物を頻繁に投入しながら省耕起栽培と耕起栽培を適宜転換すべきであると提言している。これに関して、有機物の土壌投入も土壌病害を抑制する様々な作用をもたらすことが知られているが、すでに多くの総説 (Fukui 2002, Fukui 2003, Hoitink and Boehm

1999) によって紹介されているため、詳細についてはそれらを参考にされたい。

4. 混作や圃場の栽培植生がもたらす作用

上で述べてきたように、不耕起栽培の一つの特性は土壌の有機物が増加することであるが、そのような土壌有機物の種類と性質を短期間で多様にする他の方法が、混作または混植である。そしてそれらが生み出す圃場の栽培植生とその根がもたらす作用もまた、土壌病害の発生を大きく左右する場合がある (Garbera et al. 2004)。例えばオハイオ州の Baysal ら (2008) は、「有機栽培」に転換する過渡期に適した栽培様式を検討する研究において、耕起後の休閑、複数種の牧草による混植、露地での野菜栽培、そしてトンネル被覆栽培による野菜の多毛作を3年にわたって行い、そしてこれらの栽培様式と補足的な堆肥の施用が、枝豆用ダイズとトマトの苗立枯病に及ぼす影響を比較した。その結果発病は牧草を混植した土壌で最も少なかったのに対し、堆肥の施用それ自体による発病抑止作用は確実性・再現性に乏しく、むしろ堆肥の肥料効果が顕著に認められたことを示した。またオランダの Garbera ら (2006) は、安定期の混植草地、長年耕起を繰り返した耕作地、草地から転換した耕作地、そしてその逆である耕作地から転換した混植草地の土壌を調査し、それぞれが *R. solani* AG3 によるジャガイモのそうか病を抑止する作用を比較した。その結果発病を抑止する作用は、耕作地よりも混植草地もしくは草地を転換してトウモロコシを栽培した土壌で大きく、そして土壌の発病抑止作用は土壌微生物 (主に *Pseudomonas* spp. と *Bacillus* spp.) の多様性と直接相関し、またそのような微生物の多様性は、地上部における植生の多様性とも連動すると報告した。即ち、土壌の発病抑止作用は根や土壌有機物の性状だけでなく、植物の茎葉部とも密接に関連することが示されたのである。

これに関して当研究室では、作物残渣 (緑肥) の土壌埋設がもたらす土壌病害の抑止作用に関する研究を継続して行っており、これまでの研究により、ラッカセイやコマツナなど特定の作物の乾燥残渣を土壌に混和することで *R. solani* AG2-2 によるテンサイ苗立枯病が抑止され、そして土壌の抑止作用には残渣の混和に伴って増殖する拮抗細菌が関与することが明らかとなった (Kasuya et al. 2006)。また残渣を混和した土壌を3週間程度放置すると、土壌は *R. solani* のみならず *Pythium* spp. に対しても抑止的に作用し (図1)、メタラキシル剤に強度の耐性を示す

*P. arrhenomanes*によるイネの苗立枯病も効果的に抑止した(図2)。そしてこのような植物体の茎葉部に起因する作用を圃場環境下で検証するため、ラッカセイやコマツナをリクトウと輪作／混作してそれらの生体残さを埋設した土壌が、*R. solani* AG1によるインゲン葉腐病を抑止する作用を2年連続の圃場試験で検定したところ、リクトウを単作で連作した対照区土壌では2年目になって発病が増加したのに対し、混作土壌では発病の増加が抑制された結果、混作土壌における健全な苗の数は連作土壌と比べて顕著に多いという結果が得られた。更にこれらの試験とは別に、コマツナを栽培した後の土壌におけるテンサイ苗立枯病の発生を、土壌に植物体残渣を混和しないで検定したところ、土壌微生物に起因する発病抑止作用はテンサイやハウレンソウなどのアカザ科作物や、アブラナ科の野生種を栽培した後の土壌と比べて有意に高いという予備知見も得られている。これらの試験の一部は現在も継続中であるため最終的な結論はまだ下せないが、数々の実験結果は、土壌の発病

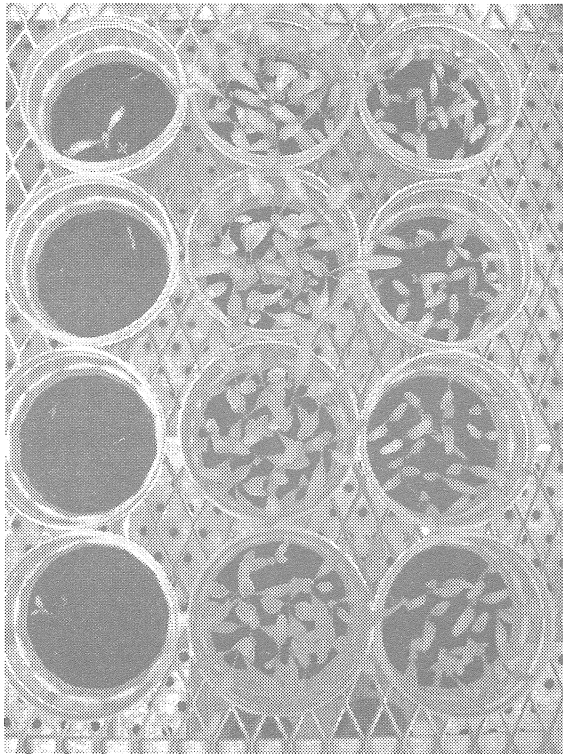


図1 乾燥作物残さを混和処理してから27~32℃で25日間静置培養した土壌が示すテンサイ苗立枯病の抑止作用

左：無処理土壌、中：コマツナ残さ処理土壌、右：ラッカセイ残さ処理土壌。土壌には*Rhizoctonia solani*と*Pythium ultimum*の双方の接種源を人為的に添加・汚染した。

抑止作用が生育する作物や栽培植生の在り方にも大きく左右され、その作用は植物体の根と茎葉部の双方に起因して、土壌微生物とも密接に関係し合うことを指し示している。それはまた、栽培体系や様式によって、土壌病害の発生がかなりの程度抑制され得ることを示唆している。これらの混作や植生に関する知見は、先に紹介した多年生作物の不耕起混植栽培においても、適切な栽培体系／様式を設定することによって土壌病害を適正に制御し、「根の健康」を維持もしくは増進することが可能であることを暗示しているようである。

5. おわりに

一鋤とDust Bowlの延長線に見る光景一

鋤に始まり、その後それがもたらした土壌流亡に対処するために実施された不耕起栽培は、当初は課題も多く実践する生産者が少なかったが、現在ではその課題の多くが克服され、相応の収量を得る技術が定着したこともあって、今後さらに普及するものと予想されている。しかしその生産性を更に改善するには、病原菌の温床となる volunteer crop を早期に除去する方策、特にリンなどの不溶肥料成分を根の近辺に施用する方法、そして播種の際に土壌表面を効果的に局所耕起する方法などについて、更なる改良が必要である (Cook 2006)。また *R. solani* や *Pythium* 属菌に対して完全な抵抗性を有した作物品種は事実上存在しないため、これらの病原



図2 乾燥作物残さを混和処理してから27~32℃で25日間静置培養した土壌が示すイネ苗立枯病の抑止作用

左：無処理土壌、左中：コマツナ残さ処理土壌、右中：ラッカセイ残さ処理土壌、右：非接種無処理土壌。土壌にはメタラキシル剤に対して耐性を示す *Pythium arrhenomanes* の接種源を人為的に添加・汚染した。

菌による制限を更に小さくするには、遺伝子組み換えによる新品種や、根や根圏微生物の機能を人為的に改変して制御する rhizosphere engineering (Ryan et al. 2009) などの新しい技術の導入により、根の健康を確保する栽培技術を確立する必要がある (Cook 2006)。これらについてはすでに多くの研究がなされており、今後我が国においても耕起を前提としない栽培体系に基づいた研究が必要であろう。それらは植物病理学及び土壌／植物微生物学の新しい方向性となって、これまでとは異なる数々の新たな知見が見出されるに違いない。そして「根の健康」を確保する不耕起栽培の研究の潮流は、いつしか「根の機能」を有効活用する多年生作物の研究の潮流と合流して、温帯地域においても土壌に健康な根が常に息づく Prairie のような作物栽培が、近い将来実現するのであろう。まだ夢のような話であるが、実際に多年生作物の商用栽培が始まり、不耕起でコムギとトウモロコシが同じ一つの圃場で毎年稔るような作物生産が行われるようになった際には、筆者がまだ生きておれば直ぐにでも現地へ赴き、圃場を視察してその栽培方法を学ぶとともに、その光景を DVD やメモリーカードなどではなく、自分の眼にしっかりと焼き付けたいと思うのである。

引用文献

- Baysal, F., Benitez, M.-S., Kleinhenz, M.D., Miller, S.A., McSpadden Gardener, B.B. 2008. Field management effects on damping-off and early seedling vigor of crops in a transitional organic cropping system. *Phytopathol.* 98:562-570.
- Blevins, R.L. and Frye, W.W. 1992. Conservation tillage: An ecological approach to soil management. *Advan. Agron.* 51:33-78.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 2000. *Elements of the nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Carter, M.R. 1994. *Conservation tillage in temperate agroecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Cook, R.J. 1992. Wheat root health management and environmental concern. *Can. J. Plant Pathol.* 14:76-85.
- Cook, R.J. 2000. Advances in plant health management in the twentieth century. *Annu. Rev. Phytopathol.* 38:95-116.
- Cook, R.J. 2003. Take-all of wheat. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 62:73-86.
- Cook, R.J. 2006. Toward cropping systems that enhance productivity and sustainability. *Proc. Nat. Ac. Sci.* 103:18389-18394.
- Cook, R.J. 2007. Tell me again what it is that you do. *Annu. Rev. Phytopathol.* 45:1-23.
- Cook, R.J. and Haglund, W.A. 1991. Wheat yield depression associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil not phytotoxins from the straw. *Soil Biol. Biochem.* 23:1125-1132.
- Cook, R.J., Chamswarng, C., Tang, W. 1990. Influence of wheat chaff and tillage on *Pythium* populations and *Pythium* damage to wheat. *Soil Biol. Biochem.* 22:939-947.
- Cook, R. J., Ownly, B.H., Zhang, H., Vakoch, D. 2000. Influence of paired-row spacing and fertilizer placement on yield and root diseases of direct-seeded wheat. *Crop Sci.* 40:1079-1087.
- Cook, R.J., Weller, D.M., El-Banna A.Y., Vakoch, D., Zhang, H. 2002. Yield responses of direct-seeded wheat to fungicide and rhizobacteria seed-treatment. *Plant Dis.* 86:780-784.
- Cox, T.S., Bender, M., Picone, C., Van Tassel, D.L., Holland, J.B., Brummer, E.C., Zoeller, B. E., Paterson, A. H., Jackson, W. 2002. Breeding Perennial Grain Crops. *Crit. Rev Plant Sci.* 21:59-91.
- Cox, T.S., Glover, J.D., Van Tassel, L.D., Cox, C. M., Dehaan, L. D. 2006. Prospects for developing perennial grain crops. *BioScience* 56:649-659.
- Crovetto, C. 1996. Stubble over the soil. *American Society of Agronomy, Madison, WI.*
- Dakora, F.D. and Phillips, D.A. 2000. Root exudates as mediations of mineral acquisition in low-nutrient environments. In: Adu-Gyamfi J.J. (ed) *Food security in nutrient- stressed environments: Exploring plants' genetic capabilities*. Kluwer, Dordrecht.
- Elliott, L.F., McCalla, T.M., Waiss, A.J. 1978. Phytotoxicity associated with residue management. In: Oschwald, W.R., Stelly, M., Kral, D.M., and Nauseef, J.H. (eds) *Crop residue management systems*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Fukui, R. 2002. Modification of soil microbial community by organic amendment: Sustainable approach to biological control of soilborne diseases. *Soil Microorg.* 56:1-9.
- Fukui, R. 2003. Suppression of soilborne pathogens through community evolution of soil microorganisms. *Microbes Environ.* 18:1-9.
- Garbeva, P., van Veen, J.A., van Elsas, J.D. 2004. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.* 42:243-70.

- Garvera, P., Postma, J., van Veen, J.A., van Elsas, J.D. 2005. Effect of above-ground plant species on soil microbial community structure and its impact on suppression of *Rhizoctonia solani* AG3. *Environ. Microbiol.* 8:233-246.
- Glover, J.D., Cox, C.M., Reganold, J.P. 2007. Future farming: A return to roots? *Sci. Am.* 297:82-89.
- Hoitink, H.A.J. and Boehm, M.J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37:427-446.
- Hornby, D. 1983. Suppressive Soils. *Annu. Rev. Phytopathol.* 21:65-85.
- Huggins, D.R. and Reganold, J.P. 2008. No-till: The quiet revolution. *Sci. Am.* 299:70-77.
- Jackson, L.E., Ramirez, I. R., Morales, I., Koike, S. T. 2002. Minimum tillage practices affect disease and yield of lettuce. *Calif. Agric.* 56:35-38.
- Jackson, L.E., Ramirez, I. R., Yokota, R., Fennimore, S.A., Koike, S. T., Henderson, D.M. Chaney, W.E., Calderón, F.J., Klonsky, K. 2004. On-farm assessment of organic matter and tillage management on vegetable yield, soil, weeds, pests, and economics in California. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:443-463.
- Kasuya, M., Olivier A.R., Ota, Y., Tojo, M., Honjo, H., Fukui, R. 2006. Induction of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* by incorporation of dried plant residues into soil. *Phytopathol.* 96:1372-1379.
- Kumar, R., Pandey, S., Pandey, A. 2006. Plant roots and carbon sequestration. *Curr. Sci.* 91:885-890.
- Liu, B., Glenn, D., Buckley, K. 2008. Trichoderma communities in soils from organic, sustainable, and conventional farms, and their relation with Southern blight of tomato. *Soil Biol. Biochem.* 40:1124-1136.
- Lynch, J.M., Ellis, F.B., Harper, S.H.T., Christian, D.F. 1981. The effect of straw on the establishment and growth of winter cereals. *Agric. Environ.* 5:321-328.
- Mazzola, M. 2004. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annu. Rev. Phytopathol.* 42:435-459.
- Meadows, R. 2006. Research seeks to adapt conservation tillage for California fields. *Calif. Agric.* 60:112-114.
- McCalla, T.M. and Norstadt, F.A. 1974. Toxicity problems in mulch tillage. *Agric. Environ.* 1:153-174.
- Monfort, W.S., Culbreath, A.K., Stevenson, K.L., Brenneman, T.B., Gorbett, D.W., Phatak, S.C. 2004. Effects of reduced tillage, resistant cultivars, and reduced fungicide inputs on progress of early leaf spot of peanut (*Arachis hypogaea*). *Plant Dis.* 88:858-864.
- Ogoshi, A., Cook, R.J., Bassett, E.N. 1990. *Rhizoctonia* species and anastomosis groups causing root rot of wheat and barley in the Pacific Northwest. *Phytopathol.* 80:784-788.
- Paulitz, T.C., Smiley, R.W., Cook, R.J. 2002. Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest, U.S.A. *Can. J. Plant Pathol.* 24:416-428.
- Peters, R.D., Sturz, A.V., Carter, M.R., Sanderson, J.B. 2003. Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil Tillage Res.* 72:181-192.
- Ryan, P.R., Dessaux, Y., Thomashow, L.S., Weller, D.M. 2009. Rhizosphere engineering and management for sustainable agriculture. *Plant Soil* 321:363-383.
- Shipton, P.J. 1977. Monoculture and Soilborne Plant Pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 15:387-407.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1995. Inventory of US greenhouse gas emissions and sinks, 1990-1994. Washington, D.C.
- Weller, D.M. 1988. Biological Control of Soilborne Plant Pathogens in the Rhizosphere with Bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 26:379-407.
- Weller, D.M., Raaijmakers, J.M., McSpadden Gardener, B.B., Thomashow, L.S. 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40:309-48.
- Weller, D.M., Cook, R.J., MacNish, G., Bassett, E.N., Powelson, R.L., Petersen, R.R. 1986. *Rhizoctonia* bare patch of small grains favored by reduced tillage in the Pacific Northwest. *Plant Dis.* 70:70-73.

アルファルファの生育と根系発達に及ぼす アンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響

廣瀬 大介

南九州大学環境園芸学部

要 旨: アルファルファの生育に及ぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響について根系の発達の差異から検討を加えた。総根長は、アンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用より長くなった。この総根長の差は、分枝根長差によって生じた。さらに、分枝根長の差は、分枝根数と個々の分枝根長の差によってもたらされたことを示した。このような根系発達の差は、硝酸還元酵素の活性に原因があるのではなく、ごく初期生育時の窒素の吸収過程に問題があると推察された。また、窒素濃度を変えてみると 20ppm までは、アンモニア態窒素施用の方は硝酸態窒素施用より根系発達が優れるが、それ以上の濃度では、硝酸態窒素施用の方が優れた。このような培地の窒素濃度によって根系発達が優れる窒素形態が異なったのは、窒素同化に関与するグルタミン合成酵素に一因があることを示した。さらに、再生過程においてもアンモニア態窒素施用の生育と根系発達が硝酸態窒素施用に比べて有意に優れた。以上の研究結果から、根系発達の差異も施肥窒素の化合形態の違いによる生育差を生じさせた原因の一つであることを明らかにした。
キーワード: アルファルファ, アンモニア態窒素, 根系, 硝酸態窒素, 生育

Effects of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen on growth and root system development in alfalfa: Daisuke Hirose (*Faculty of Environmental Horticulture, Minamikyushu University*)

Abstract: The effects of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen on the growth of alfalfa were investigated based on differences in root system development. Total root length for the ammonium nitrogen-applied area was greater than that for the nitrate nitrogen-applied area. The difference in the total root length was due to the difference in the length of lateral roots. Furthermore, the results suggest that the difference in the length of lateral roots was due to differences in both the length of individual lateral roots and lateral root number. These differences in root system development were not related to nitrate reductase activity, but rather disrupted absorption of nitrogen during the early growth period. Nitrogen concentrations also changed, and the results showed that, at concentrations of up to 20ppm, the root system development for the ammonium nitrogen-applied area was superior to that of the nitrate nitrogen-applied area, but at concentrations above 20ppm, the root system development for the nitrate nitrogen-applied area was superior. These differences in nitrogen forms resulting in superior root system development in relation to medium nitrogen concentration were partly due to glutamine synthase, which is involved in nitrogen assimilation. Furthermore, even in the regrowth process, the growth and root system development for the ammonium nitrogen-applied area were significantly better when compared to the nitrate nitrogen-applied area. Based on these findings, the difference in root system development is one of the factors resulting in growth differences due to the chemical form of fertilizer nitrogen.

Keywords: alfalfa, ammonium nitrogen, growth, nitrate nitrogen, root system

1. はじめに

アルファルファは、マメ科の多年生飼料作物であり、生育が旺盛で、飼料としての栄養価も高いため牧草の女王とも称されている (大原 1979)。このため、栽培拡大のために古くから様々な研究が行われおり、中でも、マメ科作物であるため窒素肥料と生育に関する研究が多く見られ、良好な生育を確保するためには窒素肥料の施用が必要であることが明らかにされてき

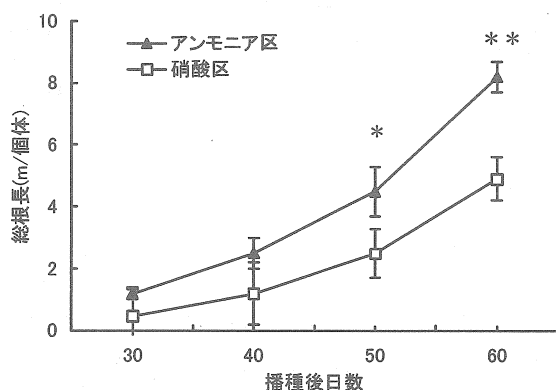
た (Gwrwig et al 1958, Giddens 1959, 原田ら 1975, 原田 1977, Heichel et al 1979, Lee et al 1979, MacLeod 1965)。また、施肥窒素の化合形態の違いによって収量に差が生じることも報告されている (Fishbeck and Phillips 1981)。しかし、Fishbeck and Phillips の研究 (1981) は、収量差を調査したものであったため、施肥窒素の化合形態の違いがアルファルファの生育にどのような影響をおよぼすかについては明らかでなかっ

た。そこで、アルファルファにアンモニア態窒素、もしくは硝酸態窒素を施用してそれぞれの生育を比較した。その結果、初期生育は硝酸態窒素施用に比べ、アンモニア態窒素施用の方が優れることを報告した（廣瀬ら 1994, 廣瀬 2000）。また、安定同位体を用いて施肥窒素の化合形態の違いによる初期生育差は、単位時間あたりの窒素の吸収量と吸収された窒素をタンパク質へ合成する能力（タンパク質合成能）の違いが一因であることが明らかにした（廣瀬 2000）。さらに、アルファルファ体内に吸収された窒素の各器官への分配を見てみると、アンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用に比べ、根への分配割合が多いことが示された。目視的にも両窒素施用では根系様相が大きく異なった。このようなことから、アルファルファの生育におよぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響をより詳しく明らかにするには、根系発達の差異についても調査する必要があると考えられた。そこで本稿では、これまでに著者が明らかにしたアルファルファの生育と根系発達に及ぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響について述べる。

2. 初期生育時の根系発達に及ぼす

アンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響

アルファルファ栽培において、初期生育の良否は、草地確立の上で重要である。そこで、まず、初期生育時の根系発達に及ぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響について検討を加えた（廣瀬 2003）。その結果、総根長は、アンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用に比べ、



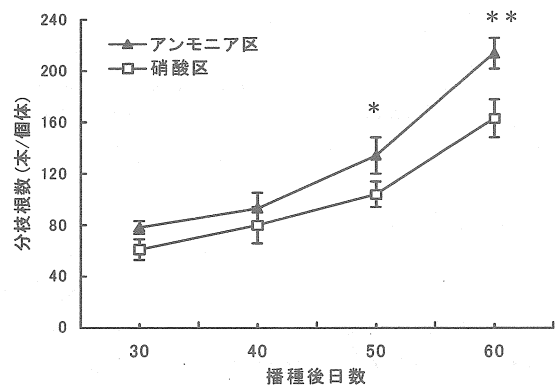
第1図 施肥窒素の化合形態が総根長に及ぼす影響
(廣瀬 2003 を改変)

図中の棒線は、標準誤差を示す。*, **は一元配置の分散分析により、同一播種後日数の試験区間でそれぞれ5%および1%水準で有意差があることを示す。

長くなった（第1図）。主根長にはそれぞれの窒素を施用した個体に差は見られなかったことから、総根長の差は分枝根長の差であることが示された。アルファルファの根系は、1本の主根と多数の分枝根からなり、分枝根が養水分吸収の中心的な役割を担っている（田中丸ら 2003）。このため、施肥窒素の化合形態の違いによって生育差が生じたのは、アンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用に比べて分枝根の発達が優れたため、それに伴って養水分吸収が活発になったことが一因と推察した。

次に、このような分枝根長の差は、どのような形態的な差異によって生じたのかを明らかにするために、アンモニア態窒素と硝酸態窒素をそれぞれ施用した個体の分枝根数を測定した（廣瀬 2005）。その結果、アンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用に比べて、分枝根数が多くなった（第2図）。また、分枝根長を分枝根数で割って求めた分枝根数1本あたりの長さもアンモニア態窒素施用の方が長くなった。このため、分枝根長の差は、分枝根数と個々の分枝根長の差によって生じたことが明らかとなった。また、主根の比根長（分枝程度の指標、あるいは根の平均直径の指標（小柳 1998））を見てみるとアンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用に差は見られなかった。このことから分枝根数の差は、二次分枝根以降の高次分枝根数の差から生じたことが示唆された。

そこで、アンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用の根系では、高次分枝根のみに生育差があるのかを明らかにするために播種後10日目から30日目まで10日ごとに個体を採取して、根系を主根と各分枝根に完全分解してそれぞれの



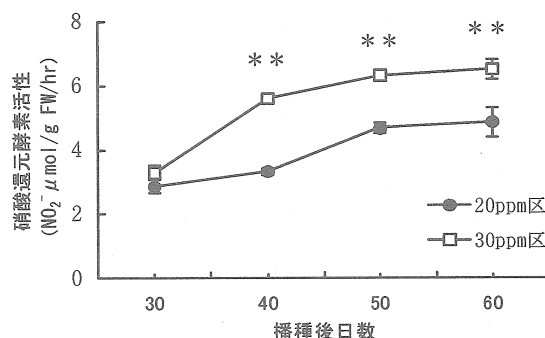
第2図 施肥窒素の化合形態が分枝根数に及ぼす影響
(廣瀬 2005 を改変)

図中の棒線は、標準誤差を示す。*, **は、一元配置の分散分析により、同一播種後日数の試験区間で、それぞれ5%および1%水準で有意差があることを示す。

長さや数を測定した (寺川・廣瀬 2006)。その結果、総根長と総分枝根数はこれまでの報告 (廣瀬 2003, 2005) のようにごく初期生育時にはアンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用に有意な差は見られなかった。一次分枝根と二次分枝根も同様に差が見られなかったが、三次分枝根の長さや数は、播種後 20 日目以降、アンモニア態窒素施用の方が有意に長く、多くなった (第 3, 4 図)。このことから、ごく初期生育時にはアンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用の根系は、三次分枝根のみに差があることが示された。また、三次分枝根のみに差が見られたことから、ごく初期生育時のアンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用の根系発達の差は、生育ステージの差から生じたのではないことが示唆された。

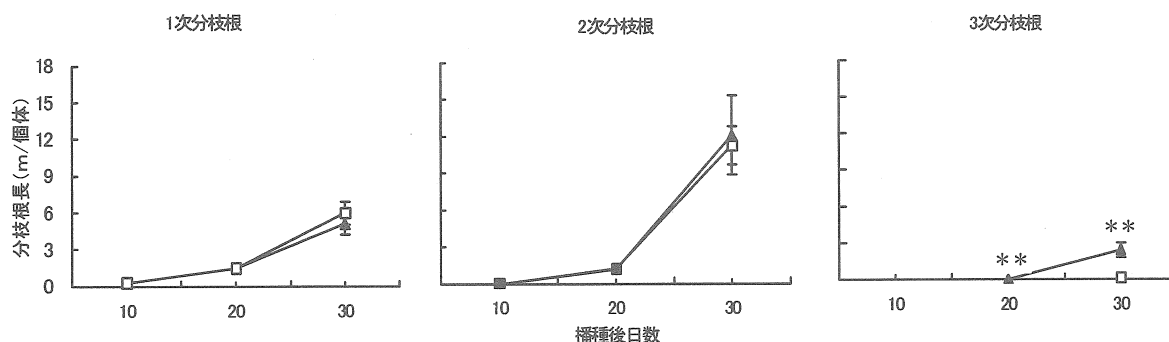
次にアンモニア態窒素施用の個体と硝酸態窒素施用の個体の根系発達が異なったのは、どのような生理反応に基づくものなのかを明らかにするために硝酸態窒素の同化過程で重要な役割を担う硝酸還元酵素の活性を測定した (廣瀬 2004)。その結果、播種後 40 日目以降に培地の

窒素濃度 30ppm での硝酸還元酵素の活性は、20ppm より高い値を示した (第 5 図)。このことから、アルファルファは、培地の窒素濃度 30ppm までは、硝酸態窒素を十分に利用できる能力を有していると考えられた。これまでの実験 (廣



第 5 図 培地の硝酸態窒素濃度が硝酸還元酵素活性に及ぼす影響 (廣瀬 2004 を改変)

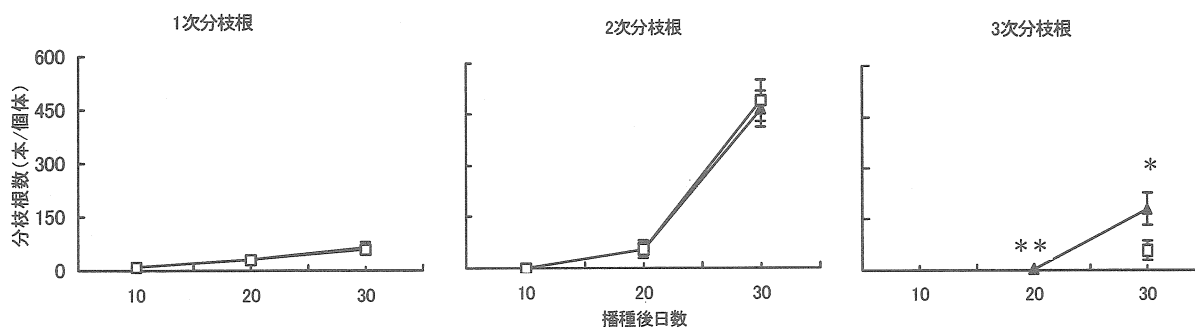
図中の縦線は標準誤差を示す。**は一元配置の分散分析により、同一播種後日数の試験区間で 1% 水準の有意差があることを示す。



第 3 図 施肥窒素の化合形態が分枝根別根長に及ぼす影響 (寺川・廣瀬 2006 を改変)

▲：アンモニア区，□：硝酸区

図中の棒線は標準誤差を示す。**は、一元配置の分散分析により、それぞれのグラフ内で同一播種後日数の試験区間で 1% 水準の有意差があることを示す。



第 4 図 施肥窒素の化合形態が分枝根別根数に及ぼす影響 (寺川・廣瀬 2006 を改変)

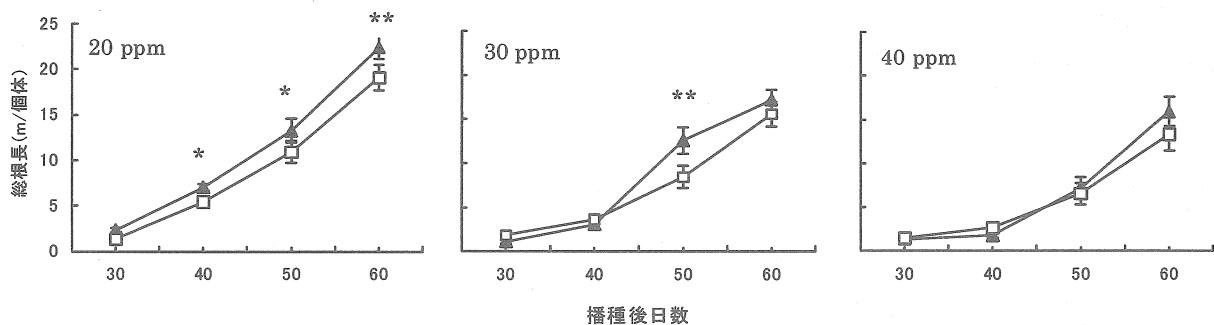
▲：アンモニア区，□：硝酸区

図中の棒線は標準誤差を示す。*、**は、一元配置の分散分析により、それぞれのグラフ内で同一播種後日数の試験区間で 5% および 1% 水準で有意差があることを示す。

瀬 2003, 2005, 寺川・廣瀬 2006) は, 培地の窒素濃度 20ppm で行っていたので, アンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用の生育と根系発達の差は, 硝酸還元酵素活性が原因とは考えにくい. また, 播種後 30 日目では, いずれの窒素濃度においても硝酸還元酵素活性は, 同程度の値しか示さなかった. 硝酸還元酵素は, 基質誘導性酵素 (Schrader ら 1968, Travis ら 1966) であることから, ごく初期生育時には, 培地の窒素濃度に関わらずアルファルファは同程度の硝酸態窒素しか吸収できなかったものと考えられた. このため, アンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用の生育と根系発達に差が見られたのは, ごく初期生育時の硝酸態窒素の吸収過程にも何らかの原因があるものと推察された.

3. 施肥窒素の化合形態と濃度の違いが根系発達に及ぼす影響

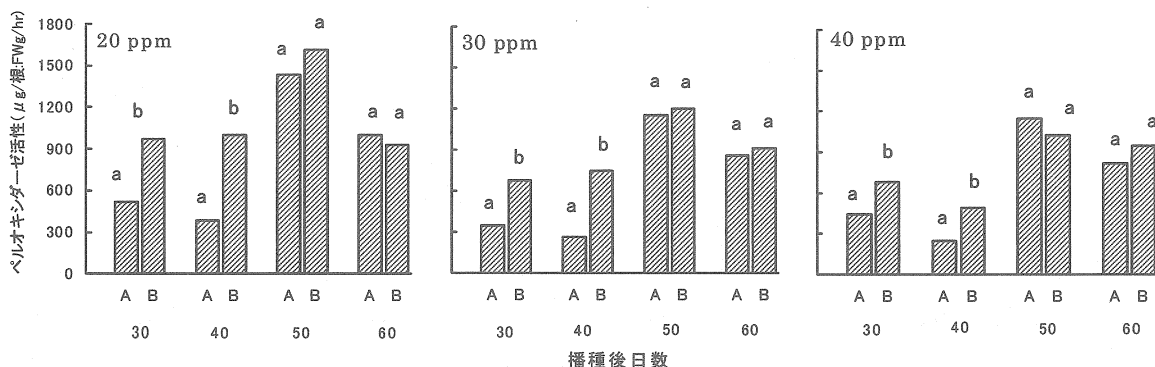
アルファルファの根長は, 培地の窒素濃度によりアンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用より長くなる場合, 逆に硝酸態窒素施用の方が長くなる場合, あるいは両窒素施用には差が見られない場合などが報告されている (Khan et al 1994, Esechie et al 2002). しかし, これらの報告は, 刈り取り時の調査のみで初期生育時の経時的な調査が行われたものではない. そこで, 施肥窒素の化合形態と濃度の違いによって初期生育時の根系がどのような影響を受けるのかについて検討を加えた (廣瀬 2006a). その結果, 生育は, 培地の窒素濃度 20ppm ではアンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用より優れたが, 30ppm と 40ppm では両窒素施用に差は見られなかった. 総根長も生育と同様な傾向を示した (第 6 図). また, 分枝根の比根長 (播種後 30 日目から 60 日目までの平均値) は, 20ppm まではア



第 6 図 施肥窒素の化合形態と濃度が総根長に及ぼす影響 (廣瀬 2006a を改変)

▲: アンモニア区, □: 硝酸区

図中の棒線は, 標準誤差を示す. *, **は, 一元配置の分散分析により, それぞれのグラフ内で同一播種後日数の試験区間で, それぞれ5%および1%水準で有意差があることを示す.



第 7 図 施肥窒素の化合形態と濃度が根のペルオキシダーゼ活性に及ぼす影響 (廣瀬 2008 を改変)

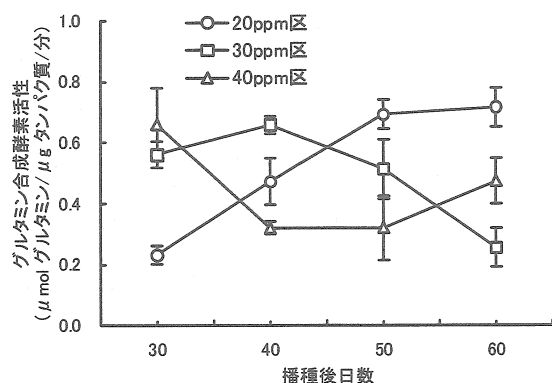
A: 硝酸区, B: アンモニア区

図中の異なる英文字は, 一元配置の分散分析により, それぞれの窒素濃度内で同一播種後日数の試験区間で 5% 水準の有意差があることを示す.

ンモニア態窒素施用の方が大きかったが、30ppm と 40ppm では逆に硝酸態窒素施用の方が大きかった。このように、培地の窒素濃度が 20ppm を超えると硝酸態窒素に比べてアンモニア態窒素の生育と根長への高い促進効果は失われることが示された。また、分枝根の発達程度は、培地の窒素濃度 20ppm ではアンモニア態窒素施用の方が、30ppm 以上では、硝酸態窒素施用の方が、それぞれ優れることが明らかとなった。

そこで、培地の窒素濃度によって分枝根の発達が優れる施肥窒素の化合形態が異なった原因を明らかにするために、根の窒素吸収量と密接な関係があるペルオキシダーゼ活性を測定した(廣瀬 2008)。その結果、培地の窒素濃度 20ppm, 30ppm, 40ppm のいずれの窒素濃度においても播種後 30 日目と 40 日目では、アンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用より高い値を示した(第 7 図)。このことから、培地の窒素濃度によって分枝根の発達が優れる施肥窒素の化合形態が異なったのは、ごく初期生育時での窒素吸収量の差に一因があるものと考えられた。

そこで、培地の窒素濃度 30ppm と 40ppm ではアンモニア態窒素の吸収量が多いとなぜ分枝根の発達が劣るのかを明らかにするために、アンモニア態窒素の同化に重要な役割を果たすグルタミン合成酵素の活性を測定した(廣瀬 2006b)。その結果、培地の窒素濃度 20ppm では、グルタミン合成酵素の活性は、播種後日数の経過に伴って増加する傾向を示した(第 8 図)。30ppm では播種後 30 日目から 40 日目にかけては増加する傾向を示したが、それ以降は減少に転じた(第 8 図)。一方、40ppm では、播種後 30 日目から 40 日目にかけて急激に減少し、その後、50



第 8 図 培地のアンモニア態窒素濃度がグルタミン合成酵素活性に及ぼす影響(廣瀬 2006b を改変)

図中の棒線は、標準誤差を示す。

日目までは一定の値であったが、50 日目から 60 日目にかけては増加した(第 8 図)。グルタミン合成酵素の活性は、カルバミルリン酸や AMP などによって酵素活性が抑制される、いわゆるフィードバック阻害を受けると言われている(増田 1977)。このため、培地の窒素濃度 30ppm 以上でアンモニア態窒素施用の分枝根の発達が硝酸態窒素施用より劣ったのは、フィードバック阻害によってグルタミン合成酵素活性が抑制されたことが一因であると推察した。

4. 再生過程の生育と根系発達に及ぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響

アルファルファ栽培において再生の良否は、栽培年数の長短に関わる重要なものである。これまでに、著者は、アルファルファの再生は基肥にアンモニア態窒素施用の方が硝酸態窒素施用に比べて優れたことを報告し、再生過程においても施肥窒素の化合形態によって生育差が生じることを明らかにした(廣瀬ら 1994)。また、再生の良否には、刈り株の貯蔵養分の多少と刈り取り後に施用する窒素肥料の影響が大きいことが明らかにされている(原田 1964)。このため、再生過程の生育の良否は、基肥だけでなく、刈り取り後に追肥する窒素肥料の化合形態の違いによっても影響されることが考えられる。そこで、基肥と追肥にアンモニア態窒素と硝酸態窒素を組み合わせ、それぞれの再生過程の生育を比較した(廣瀬 2002a)(設定した試験区については、第 1 表の脚注を参照のこと)。そ

第 1 表 施肥窒素の化合形態が再生過程の乾物重に及ぼす影響(廣瀬 2002a を改変)

刈り取り後 日数	乾物重(g/個体)			
	A-A	A-N	N-A	N-N
0	2.9 a	2.9 a	2.0 b	2.0 b
1	1.5 a	1.4 a	1.2 b	1.3 b
3	1.5 a	1.5 a	1.1 b	1.0 b
5	1.5 a	1.5 a	1.0 b	0.9 b
7	1.6 a	1.3 b	1.0 c	1.0 c
10	1.9 a	1.4 b	1.0 c	1.0 c
20	2.8 a	2.3 b	2.4 b	2.2 c
30	4.5 a	4.3 b	4.3 b	3.7 c

A-A: 基肥、追肥ともにアンモニア態窒素を施用した区

A-N: 基肥にアンモニア態窒素を、追肥に硝酸態窒素を、それぞれ施用した区

N-A: 基肥に硝酸態窒素を、追肥にアンモニア態窒素を、それぞれ施用した区

N-N: 基肥、追肥ともに硝酸態窒素を施用した区

表中の異なる英文字は、Tukey法により同一刈り取り後日数の試験区間に 5% 水準で有意差があることを示す。

の結果、再生過程での生育は、基肥、追肥ともアンモニア態窒素を施用した区が最も優れ、逆に基肥、追肥とも硝酸態窒素を施用した区が最も劣った(第1表)。また、生育差の原因を明らかにするために総根長を測定してみると乾物重と同様に基肥、追肥ともアンモニア態窒素を施用した区が最も長く、基肥、追肥とも硝酸態窒素を施用した区が最も短かった(第2表)。分枝根の比根長も同様に基肥、追肥ともアンモニア態窒素施用が最も大きかった。このようなことから、再生過程の生育には基肥、追肥ともアンモニア態窒素施用が最も適していると考えられた。また、再生過程の生育差は、初期生育と同様に根系発達の差が一因であることを示した。

5. おわりに

以上のように、根系発達の差異も施肥窒素の化合形態による初期生育と再生過程の生育の差を生じさせた一因であることが明らかとなった。また、アルファルファの根系発達は、アンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用では大きく異なることも示した。しかし、アルファルファのアンモニア態窒素と硝酸態窒素に対する生育反応は、日長や気温により異なる(廣瀬 2001, 2002 b)。このため、日長や気温などの環境条件の違いによっては施肥窒素の化合形態が根系発達におよぼす影響も異なることも考えられる。施肥窒素の化合形態の違いがアルファルファの生育と根系発達に及ぼす影響をより詳しく明らかにするためには、今後この点について追求してい

第2表 施肥窒素の化合形態が再生過程の総根長に及ぼす影響(廣瀬 2002a を改変)

刈り取り後 日数	総根長(m/個体)			
	A-A	A-N	N-A	N-N
0	5.2 a	5.2 a	3.9 b	3.9 b
1	4.8 a	4.1 a	3.0 b	2.8 c
3	3.9 a	3.5 a	2.8 b	2.4 b
5	4.2 a	3.2 b	2.5 c	2.2 c
7	4.2 a	3.0 b	2.4 c	2.2 c
10	4.9 a	3.5 b	2.5 c	1.8 d
20	5.0 a	3.7 b	2.5 c	2.1 c
30	5.4 a	4.9 b	3.7 c	3.0 d

A-A: 基肥、追肥ともにアンモニア態窒素を施用した区

A-N: 基肥にアンモニア態窒素を、追肥に硝酸態窒素を、それぞれ施用した区

N-A: 基肥に硝酸態窒素を、追肥にアンモニア態窒素を、それぞれ施用した区

N-N: 基肥、追肥ともに硝酸態窒素を施用した区

表中の異なる英文字は、Tukey法により同一刈り取り後日数の試験区間に5%水準で有意差があることを示す。

く必要があると考える。また、ごく初期生育時にはアンモニア態窒素施用と硝酸態窒素施用の根系では三次分枝根にのみ差異があることを示した。しかし生育が進んだ段階でもこのような高次分枝根にのみ差があるかは明らかでない。生育の進んだ根系を完全に分解することは容易ではないので、今後は、新たな根系構造を明らかにする方法を模索し、高次分枝根の差異についても検討を加えていくべきと考える。

引用文献

- Esechie, H.A., Ai-Barhi, B., AL-Gheity, S., Al-Khanjari, S. 2002. Root and shoot growth in salinity-stressed alfalfa in response to nitrogen source. J. plant Nutr. 25: 2559-2569.
- Fishbeck, K.A., Phillips, D.A. 1981. Combined nitrogen and vegetative regrowth of symbiotically-grown alfalfa. Agron. J. 50: 291-294.
- Gerwig, J.L., Ahlgren, G.H. 1958. The effect of different fertility levels on yield, persistence, and chemical composition of alfalfa. Agron. J. 50: 291-294.
- Giddens, J. 1959. Nitrogen applications to new and established stands of alfalfa. Agron. J. 51: 574.
- 原田 勇 1964. 牧草類の再生過程における養分吸収。牧草類における養分吸収過程ならびにそれに基づく合理的施肥法に関する研究(第3報)。土肥誌 35: 290-295.
- 原田勇, 篠原 功, 朝倉貞男 1975. Alfalfaの初期生育におけるN-吸収 pattern について。北海道草地研究会報 10: 88-91.
- 原田 勇 1977. 牧草の栄養と施肥。養賢堂, 東京。pp56-57.
- Heichel, G.H. and Vance, C.P. 1979. Nitrate-N and rhizobium strain roles in alfalfa seedlings nodulation and growth. Crop Sci. 19: 512-518.
- 廣瀬大介, 巽二郎, 津川兵衛, 西川欣一 1994. アルファルファの初期生育と¹⁵N 標識窒素の吸収・分配におよぼす硝酸態窒素とアンモニア態窒素の影響。日作紀 63: 26-33.
- 廣瀬大介 2000. アルファルファ(Medicago sativa L.)の初期生育と窒素吸収におよぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響。日草誌 45: 404-410.
- 廣瀬大介 2001. 長日条件下における温度と窒素肥料の組み合わせがアルファルファ(Medicago sativa L.)の初期生育と窒素分配におよぼす影響。日草誌 47: 163-169.
- 廣瀬大介 2002 a. 基肥と追肥の組み合わせの違いがアルファルファの根系発達に及ぼす影響。日草誌 48 (別): 278-279.
- 廣瀬大介 2002 b. 短日条件下における温度と窒素肥

- 料の組み合わせがアルファルファ (*Medicago sativa* L.) の初期生育と窒素分配におよぼす影響. 日草誌 48 : 242-247.
- 廣瀬大介 2003. 施肥窒素の化合形態の違いがアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 幼植物の根系発達におよぼす影響. 日草誌 49 : 490-494.
- 廣瀬大介 2004. アルファルファの硝酸還元酵素の特性について. 日作九支報 70 : 53-56.
- 廣瀬大介 2005. 水耕栽培したアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 幼植物の分枝根発達に及ぼすアンモニウム態窒素と硝酸態窒素の影響. 日草誌 51 : 195-198.
- 廣瀬大介 2006a. 施肥窒素の化合形態と濃度がアルファルファ (*Medicago sativa* L.) の根系発達に及ぼす影響. 日草誌 52 : 101-105.
- 廣瀬大介 2006b. 培地の窒素濃度がアルファルファのグルタミン合成酵素活性に及ぼす影響. 日草誌 52 (別2) : 98-99.
- 廣瀬大介 2008. NH_4^+ と NO_3^- の窒素形態の違いがアルファルファ (*Medicago sativa* L.) の生育, 養分吸収に与える影響. 日草誌 54 : 123-127.
- Khan, M.G, Silberbush, M., H Lips, S. 1994. Physiological studies on salinity and nitrogen interaction in alfalfa. I. Biomass production and root development. J. plant Nutr. 17 : 2559-2569.
- 小柳敦史 1998. c. 根系の形態的な測定指標. 根の事典編集委員会 (編) 根の事典. 朝倉書店, 東京, pp375-376.
- Lee, C., Smith, D. 1972. Influence of nitrogen fertilizer on stands, yields of herbage and protein, and nitrogenous fractions of field-grown alfalfa. Agron. J. 64 : 527-530.
- MacLeod, L.B. 1965. Effects of nitrogen and potassium on the yield and chemical composition of alfalfa, bromegrass, orchardgrass, and timothy grown as pure species. Agron. J. 57 : 261-266.
- 増田芳雄 1977. 植物生理学, 培風館, 東京, pp166-168.
- 大原久友 1979. ルーサンの栽培と利用, 明文書房, 東京, pp1.
- Schrader, L.E., Ritenour, G.L., Eilrich, G.L., Hageman, R.H. 1968. Some characteristics of nitrate reductase from higher plants. Plant Physiol. 43 : 930-934.
- 田中丸耕治, 森田茂紀, 阿部 淳, 稲永 忍 2003. 植物の根に関する諸問題 [124] - 側根の生育に対する土壌の水分・窒素条件ならびに体内条件の影響-. 農及園 78 : 1212-1217.
- 寺川貴健, 廣瀬大介 2006. アルファルファの高次分枝根の発達に及ぼすアンモニウム態窒素と硝酸態窒素の影響. 日草誌 52 (別1) : 178-179.
- Travis, R.L., Jórdan, W.R., Huffaker, R.C. 1969. Evidence for an inactivating system of nitrate reductase in *Hordeum vulgare* L. during darkness that requires protein synthesis. Plant Physiol. 44 : 1150-1156.

7th International Society of Root Research(第7回国際根研究学会)に参加して

二 瓶 直 登

福島県農業総合センター

第7回国際根研究学会(7th International Society of Root Research; ISRR)が、2009年9月2~4日にオーストリアの首都ウィーンで開催された。会議には33カ国から約220人が参加した(表1)。主な参加国は、オーストリア、日本、ドイツ、イギリス、イタリア、スイス、フィンランド、フランス、スロバキア、スペイン、米国、チェコであった。前回開催国の日本からは、35人の参加であった。

会議は7つのセッションに分けられ、セッションごとに招待講演後、75の口頭発表と121のポスター発表が行われた(表2)。セッションごとに優秀なポスターを表彰したが、残念ながら日本人の受賞者はなかった。

筆者は、セッション2でポスター発表を行い、植物のアミノ酸吸収、吸収したアミノ酸が根系発達与える影響について紹介した。植物体内のアミノ酸測定方法、他の植物でのアミノ酸の効果などについて、日本人研究者の方に助けられながらも、稚拙な英語で精一杯の説明をした。特に、分子生物学の研究者とアミノ酸の吸収機構に関し、議論をすることができたのは大きな収穫だった。今後、お互いが抱える問題を共有し、遺伝子レベルでのメカニズム解明と現場で問題となっている課題をつなげる研究を行いたいと考えている。また、本学会は私にとって初めての国際学会であり、国内外の様々な研究分野を同時に知ることができたことも有意義な経験だった。日本の根研究分野は様々な分野を包括しつつあり、その中でも日本が先行している研究、出遅れている研究なども自分なりに理解でき、海外から日本を客観的にみることもできた。

会場のBOKU大学構内には、根を堀上げたオブジェも展示されており、根研究に対する造詣

の深さを感じた。本学会には女性の研究者も多数出席しており(中には子連れで参加している方もいました)、日本との研究環境の違いも感じた。また、期間中、短期間であるがウィーンの街並みを見学することができた。ウィーンの気候は北海道に似ているといわれるが、学会期間中は、日差しは強いもののカラッとした天気が続いた。世界文化遺産に登録されている旧市街地には、数多くの名所があり、歴史の迫りに何度もうなった。屋外カフェでは、遠巻きに聴こえてくる路上演奏と、コーヒーやケーキなどを楽しむ人たちで賑わっていた。音楽の都の名の通り、オペラ座前にはモーツァルトに扮したチケット販売人や多くの著名人像、オペラが流れる公衆トイレもあった。交通の便もよく、街の人々も大変親切であった。

学会最終日には、東京大学森田先生、阿部先生、中央農研小柳氏の主催で、イギリス Bristol 大学 Barlow 先生と日本人研究者との交流会があり、私も参加させて頂いた。Barlow 先生は根研究の第一人者(セッション1の招待講演者)で、これまでの日本人研究者に対する多大な助言への御礼と、新しい研究者との交流を深めるために催された。Barlow 先生から日本人研究者に関する思い出話が次々あがり、日本との付き合いの長さを感じた。参加者が日本文化を Barlow 先生に伝えるという企画では、ホテルのバスタオルを頭に巻いた唐原根研会長の“すし屋のオヤジ”が印象的でした。

このような素晴らしい経験ができたのも根研究会「苺住」海外渡航支援制度により渡航費の支援をして頂いたからである。有意義な会議に参加する機会を頂いたことに、深く感謝する。次回、第8回国際根研究会は、2012年 Scotland の Dundee で開催予定である。少し早いですが、ぜひとも次の大会に参加したいと考えている。

表1 参加国と参加者数*

オーストリア	37	チェコ	6	デンマーク	2
日本	35	エストニア	5	ノルウェー	2
ドイツ	19	スコットランド	4	ニュージーランド	2
UK	13	スウェーデン	4	ネパール	1
イタリア	10	スロベニア	4	ブラジル	1
スイス	10	ベラルーシ	4	カナダ	1
フィンランド	10	イスラエル	4	ジョルジア	1
フランス	9	ロシア	3	ベルギー	1
スロバキア	8	ハンガリー	3	オランダ	1
スペイン	7	ラトビア	3	コロンビア	1
アメリカ	6	イラン	2	ポーランド	1

* 7回国際根研究学会参加者リストより

表2 各セッションと発表数

No.	セッション	口頭発表	ポスター発表
1	Root growth, anatomy and morphology	13(1)	25(5)
2	Root uptake, use efficiency and competition	11(1)	18(4)
3	Rizosphere and soil organisms	8(0)	17(1)
4	Allocation and partitioning in roots	13(0)	19(4)
5	Climate change and environmental stresses	12(2)	21(8)
6	Root-Soil Interactions; modeling concepts	8(0)	5(0)
7	Methods for root observation and measurement	10(1)	16(3)

() 内は日本人による発表

2009年11月12日受付

* 連絡先 〒963-0531 郡山市日和町高倉下中道116

E-mail: nihei_naoto_01@pref.fukushima.jp

7th International Symposium Root Rap に参加して

牧 田 直 樹

神戸大学大学院農学研究科

モーツァルト、ベートーベン、シューベルト、名だたる音楽家が集い育った音楽の都ウィーン。そんな活気あふれる芸術の町に、根の研究者が世界中から一同に集まった。第7回国際根研究学会シンポジウムは、秋の気配が感じられる2009年9月2日-5日にオーストリア、ウィーンにおいて開催された。

この学会に参加して、まず感じたのは、研究の幅広さであった。同じ「根」という植物器官を扱っているものの、根の遺伝子レベルの話から生態系レベルの話まで、また基礎分野から応用分野までと、実に幅広い内容の発表を目にすることができた。また作物系の繊細な実験研究と樹木根の大胆なフィールド研究は大きな違いとして目に映った。樹木根を研究する者として、作物系の綿密な実験計画や分子遺伝学的な分析など学ぶことは多くあるとおもう。最新の研究成果を知ると同時に、根を様々な視点から見ることもできた本学会は、分野を超えた交流の場となり、根の機能や役割の包括的な理解の場となると感じた。一つ残念であったのは、口頭発表が二つの部屋に分かれていたことである。大きな学会であるため仕方の無いことなのだが、聞きたい発表が同時に重なることも多々あった。さまざまな研究者が分野を超えて意見交換をすることが、この地下部の研究にとって重要なことであると思うし、この学会の良いところであると思うが、そこだけは少し残念であった。

私が印象に残った樹木系の発表を述べたいと思う。樹木根の研究で多く目に付いたのは、根のターンオーバー、動態に関するものであった。細根は、土壤中の養水分を吸収する生理的機能と同時に、数週間から数年と比較的短い時間で生産枯死し、土壌へ枯死有機物を供給するという生態的機能をもつといわれている(成長-枯死-分解サイクル)。このサイクルで消費される炭素量は多く、土壌中の炭素蓄積に大きく貢献している。従来、これらのテーマで広く用いられている測定方法としては、土壌コア法、イン

グロース法、ミニライゾトロン法などがある。本学会では、これ以外に新たなアプローチがいくつか報告されていた。例えば、フィンランドのチームの放射性同位体を用いた分析から、より詳細な根の齢を推定するという取り組み。フランスのチームの安定同位体を用いた大掛かりなラベリング実験から、炭素の行方を生態系レベルで調べる取り組み。また日本のチームのスキナ法とPCを用いた連続画像撮影システムから、根の動態を撮影し自動で根の動態を追跡する取り組みなど、多くの新しいチャレンジが行われていた。根の動態に関しては、研究が徐々に応用面へと変遷している印象を受けた一方で、新たな測定手法によって根と地上部や土壌、環境要因などとの相互作用の関わり方の解明、またはこれまで難しいとされていた根の時系列データの定量化等にも多くの可能性を感じた。根の動態、つまり「根の一生」に関してはまだまだ多くの謎が秘められている。測定も困難である。だからこそ新たなアイデア、工夫が必要であると私は強く感じる。見えないものを見ようとしてガリレオは望遠鏡を覗きこんだ。それでは、Hidden half 隠れた半身である根ではどのようにしていけばよいのであろうか? 「見えないものをみる」これは人間の永遠のあこがれであると感じる。世界最先端の研究者の挑戦的な試みを知ることができ、非常に刺激を受けることができた。

私自身は、「樹木細根の呼吸量と形態特性の季節変動」というタイトルで発表させていただいた。つたない英語での発表ではあったが、日頃から論文を拝見させていただいている方々から、質問やコメントを直接いただけたことは、貴重な機会であったと思う。また、同じテーマに関心のある同年齢ぐらいの学生と、研究の面白さや悩みなどを共有できたことは非常に刺激になった。世界のどこかで、同じようなことについて問題意識をもち、工夫を重ねながら研究しているかと思うと、大変うれしく思った。と同

時に、自分自身ももっとがんばらなければという気持ちも強くなった。

最後になりましたが、このような素晴らしい学会に参加する機会を与えてくださった、荻住昇氏および、根研究会関係者の方々に深く感謝いたします。スイス森林総合研究所の Brunner 博士は、日本人の学生の参加者の多さに驚き、これは荻住基金および根研究会がサポートしてくれていると伝え、「学生の国際学会への参加は非常大きな刺激を与えるものである。荻住

氏、根研究会の心意気は非常に素晴らしい。スイスも日本を見習わなければいけないね。」と述べられていた。今回の学会は、自分自身の研究生活において、大きな分起点になったと思う。欧米の大規模かつ活発な研究。研究に対する態度の違い。欧米の連綿と継続される多面的で奥行き深い研究にサイエンスの歴史を感じ、多くのことを学ぶことができた。今回の機会をもとに、ますます精進し、今後の根の研究のさらなる発展につなげていきたい。



ウィーン市庁舎での晩餐会



フィールドエクスカージョンにて
モニカ博士（左）と筆者（右）

第 7 回国際根研究学会シンポジウムに参加して

福 澤 加里部

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

9 月にオーストリア・ウィーンにて国際根研究学会が開催されました。樹木根の国際学会には過去に 2 回参加してきましたが、今回の学会は私にとってチャレンジの学会でした。それは初めて口頭発表したからです。

私は「Method for root observation and measurement」というセッションにおいて、「Seasonal pattern of fine-root production and respiration of oak seedling and dwarf bamboo」というタイトルで発表しました。根箱で樹木苗(ミズナラ)とクマザサを育て、スキャナーを用いてそれぞれの細根生産の季節変化を明らかにしました。季節変化を明らかにする理由は、それがフィールドにおける細根生産量の評価および予測に必要な基礎的情報であるからです。細根生産の季節変化に関する既往の研究を比較すると、必ずしも一致しません。これは細根動態に影響を及ぼす要因となる生育環境や植物体内での光合成産物の分配が生育環境や植生タイプによって異なるからであると考えられます。私はミズナラとササで細根生産の季節変化パターンが異なることを明らかにしました。ササは冷温帯林の主要な林床植生であり、この違いは地上部フェノロジーが樹木とは異なることと関係していると考えられました。

発表前には質問が聞き取れるかなど心配しましたが、意外にも(?) 聞き取れ、無事終えることができました。飛ぶ前には高そうに見えるハードルでも飛んでみるとそうでもなかったということがあります。何でも経験することが大切、やってよかったと思います。ただし、口頭発表ではポスター発表以上に準備に時間をかけなければなりません(反省)。

続いて学会全体の様子についてご報告します。Opening ceremony では、植物根研究のこれまでと今後の発展について Hans Persson 博士の講演がありました。根は土の中であって観測が困難であり、地上部に比べて研究が遅れていることは、多くの研究者が根を研究する動機になって

います。しかし根だけを見ていても十分ではなく、地上部の構造や機能と比較して植物全体で見る必要であることも強調されていました。地上部と地下部を含めて植物を統合的に研究してこられ、昨年亡くなった Lore Kutschera 博士の功績を称え、全員で黙祷しました。また、地球環境が変化している中での根ということで、植物体から生態系レベルへのスケールアップも必要であるとのことでした。例えば「Climate change and environmental Stress」というセッションは生態系レベルを意識した新たな取り組みでしょう。高 CO₂ 負荷に対する応答 (FACE 実験) に関する発表などがありました。その一方、細胞レベルの発表もあり、マクロスケール寄りの私としてはとても新鮮でした。さまざまなスケールの研究を一つの学会で聞けるのもこの学会の魅力であると感じました。

今回の学会での新しい経験、見聞きしたことを今後の研究に生かしたいと考えています。

本会議への参加にあたり、根研究会「苅住」海外渡航支援から助成を賜りました。ここに記して深く感謝申し上げます。



エクスカーショで訪れたSchneeberg山。Monika Sobotik博士に案内していただき、ハイマツの根の広がりを見た。

7th Symposium of the International Society of Root Research (ISRR)

Root Research and Applications (第7回国際根研究学会(ISRR)シンポジウム)に参加して

中 野 愛 子

兵庫県立大学 環境人間学部

音楽の都であり、多数の世界遺産があるオーストリアの首都・ウィーンにあるウィーン農業大学で第7回国際根研究学会が2009年の9月2日から4日にかけて開催されました。この学会は農作物の根から樹木の根まで幅広い根に関する研究をそれぞれ次の7つのカテゴリ「根の成長 (Root growth)、構造と形態 (Anatomy and morphology)、根の吸収 (Root uptake)、利用効率と競争 (Use efficiency and competition)、根圏と土壌生物 (Rhizosphere and soil organisms)、分配と根圏での分割 (Allocation and partitioning in roots)、土壌炭素固定の寄与 (Contributions to soil C sequestration)、気候変動と環境ストレス (Climate change and environmental stresses)、根と土壌の相互作用: モデリング構想 (Root - Soil Interactions : modelling concepts)、根の観察と測定の方法 (Methods for root observation and measurement)」に分類し、1日に2つから3つのカテゴリについてセッションが開催されました。さらに、コーヒーブレイクの時間を使ってポスター発表が行われました。

私はポスターで「連続土中スキャナ画像を用いた樹木の細根の動態解析に関する研究」の成果について発表しました。本研究は土壌中を撮影したスキャナ画像から樹木の細根のみを抽出し、時間的に生長していく細根の先端部を自動で追跡、その追跡結果データから樹木根の動態についての解析したものです。そのため、スキャナ画像で根の形態を観測する実験を行っている研究者や、樹木の根のなかでも直径の短い細根について研究している研究者がポスターを見に来てくれました。彼らからデータ解析の手法や細根の先端を追跡する他のソフトについての情報を得ることができた他、細根の生長に関するデータ取得に本研究の手法を利用してみたいなど、今後の研究の成果に対する期待もいただき、有意義な時間を過ごすことができました。

ポスター発表の他にも、セッションを聞くことによって、根に関する様々なことを学びました。根の形態学的知識や解剖学からみた根の生長、3次元的な根のモデリングなど、どのような研究が行われ、どの分野が今後研究されていくのか、実験にはどのくらい多くの労力と時間が必要であるのか、など実験や根に関する知識・考え方を吸収することができました。どの発表も大変興味深いものでした。

私にとって初めての学会参加が今回の国際学会でしたが、世界中の研究者の方とお会いし、話が出来たことは本当に良い刺激となりました。カンファレンスディナーのときにも研究に関する話し合いをするチャンスに恵まれました。ここでは、農作物の根の研究など、研究の対象が違う研究者や、初対面の研究者と意見を交換する面白さを知りました。また、今回の学会では、日本人の研究者、特に同世代の研究者が多く参加しており、交流を深めるとともに、研究に対する取り組み方や情熱、意識の高さなど多くの刺激を受けて帰ってきました。

今回のウィーンでの国際根研究学会への参加費用は根研究会「荊住」海外渡航支援の援助を受けました。このような機会を与えてくださったことに深く感謝すると共に、今後の自分の研究に繋がるようより一層努力したいと思います。

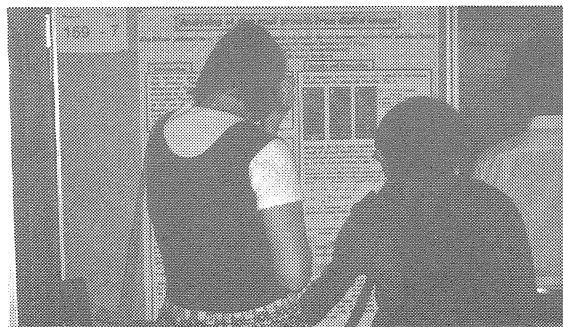


図 ポスターの前で他の研究者と意見を交わした。

7th ISRR Symposium 'Root Research and Applications' (RootRAP) に参加して

安達 祐介

新潟大学農学部 作物学研究室

7th ISRR シンポジウムはオーストリアの首都ウィーンにあるボーク大学で2009年9月2日から9月4日の日程で行われた。また、9月5日にはエクスカーションが行われた。第1回、第3回のシンポジウムが行われたオーストリアで再び開催されるということで、また功労者である Kutchera 博士の追悼もあり、オープニングセレモニーにおいてその功績を紹介する内容となっていた。今回のシンポジウムでは日本からの参加者が多数を占め、根研究会からの参加者が多かった。一方日本以外のアジアからの参加者は少なかった。

シンポジウムでは口頭発表及びポスター発表が行われ、セッションは7つに分かれていた。口頭発表は2つの会場でセッションごとに順次行われた。そのうち私は特に、到着した翌日の Barlow 博士の根を神経系に見立てた発表は非常に印象深いものであった。ポスター発表においては、私自身は肥料の利用効率を高めるという点を研究テーマの一つとしていたこともあり、Moreta 博士の硝化抑制に関する研究について、とても興味深い話を聞かせていただいた。

私は、「水稻における肥効調節型肥料の全量基肥施用による不耕起直播栽培」についてポスターセッションで発表した(図1)。拙い英語で研究内容の説明やディスカッションがうまくできなかったが、この点は今後の反省点と思われた。

シンポジウム終了後、最終日に行われたエクスカーションでは、まず Schneeberg (雪の山) という高山に移動した(図2)。その頂上付近において、高山植物の根系について実際の分布を見ながら Sobotik 博士らから非常に熱心な説明を受けた。その「雪の山」という名称通りの寒冷な気候条件から、土壌への有機物の堆積が少なく分解が進まないために、根系分布が土壌表層のみにとどまっていた。這うように伸びた根と、非常に薄い土壌のA層は特徴的だった(図3)。また、高山から俯瞰したオーストリアの街の風景と、可憐な高山植物には心を洗われる思

いであった。下山後は Eichkogel に移動した。当地はワインに使用されるブドウの産地で、地理的条件や草種が高山とは異なっていた。高山で見られたものとは逆に、軒並み深く根を張る植物が対照的であった(図4)。エクスカーションの最後には、オーストリア料理のレストランにて夕食を取り、全体の締めくくりとした。

全体を通して、知的好奇心を刺激される数々の発表を目に出来たこと、その経験とともに、自分自身の不勉強を深く感じる事ができた。今回のオーストリアへの渡航費用の一部は根研究会「苜蓿」海外渡航支援によった。この場をお借りして深く感謝申し上げるとともに、今回の支援によって得られた経験を今後の研究の発展に繋げていきたい。

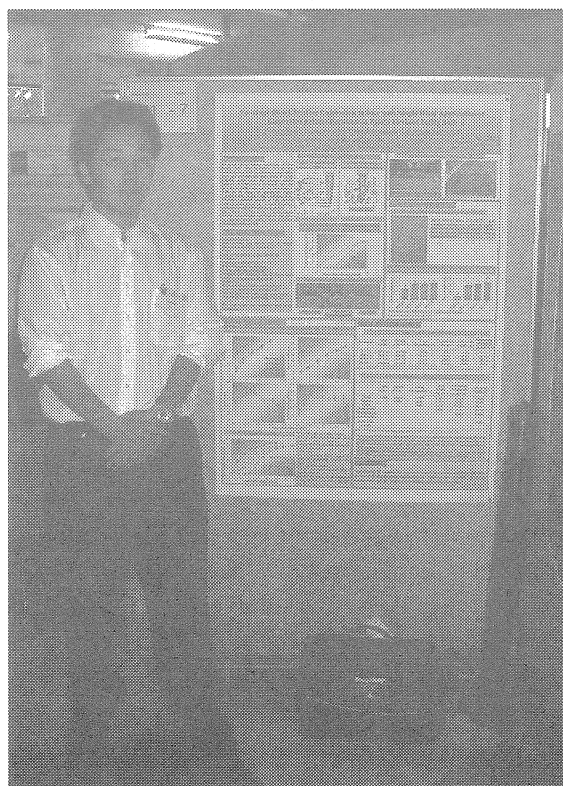


図1 ポスターセッションにて

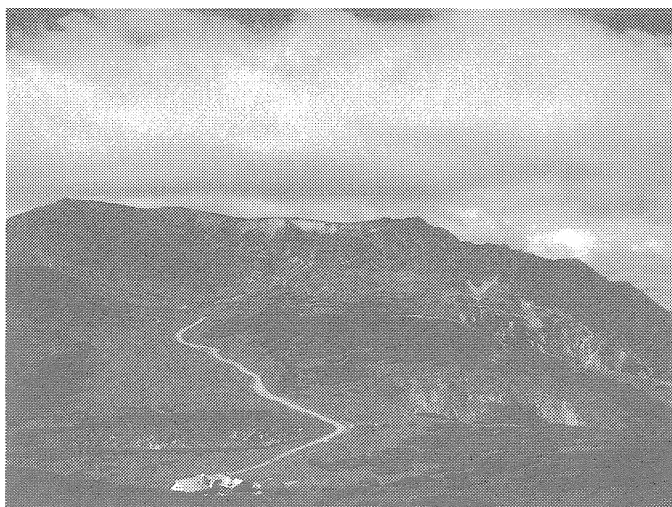


図2 Schneebergの全景



図3 広がる根と薄い土壌A層
(Schneeberg)



図4 深く伸びた根と Monika Sobotik 博士
(Eichkogel)

7th Symposium of the International Society of Root Research (ISSR)

Root Research and Applications (Root RAP) (第7回国際根研究会シンポジウム)に参加して

松 本 晃

神戸大学大学院森林資源学研究室

2009年9月2日から4日までの3日間、ウィーンのBOKU大学で開催された第7回国際根研究会シンポジウムに参加しました。私にとって初めての国際学会への参加ということもあり、期待と共に不安も大きかったのですが、学会を通じて、様々な勉強をさせていただきました。

私は樹木枯死根が分解される際に放出されるCO₂量(枯死根分解呼吸量)を野外において直接測定した研究についてポスター発表を行いました。枯死根分解呼吸量は温度や根の直径に大きく依存しており、高い気温もしくは細い根直径で、枯死根分解呼吸量が高かったことを発表しました。樹木根の中でも特に細根の分解呼吸量を測定する重要性、土壌表面から放出されるCO₂量(土壌呼吸量)との関係性、また、今回用いた手法の問題点などについて、数人の根研究者の方々と意見交換を行いました。自分なりに準備をして学会に臨んだのですが、実際に発表をしてみると、質問の意図がわからなかったり、回答を上手く英語で表現できなかったり、頭が真っ白になってしまうことがありました。しかし、私のつたない英語を理解しようと向き合っていた根研究者の方々の優しさに助けられ、有意義な質疑応答をすることができました。1時間の発表でしたが、私にはとても長く感じられ、終わった時にはシャツの中は汗でびしょりぬれており、体は疲れ果てていました。自分の勉強の足りなさを痛感した一方で、とても充実した1時間でした。

口頭発表では、自分の研究内容でもある樹木根のターンオーバーに関する発表を主に聞きました。印象に残ったのはミニライゾトロン法において、「画面から消失した根(disappeared root)」をどのように評価するべきかという課題についての発表です。「画面から消失した根」は分解された根であると現在のところ仮定されていますが、それが実際に分解された根を表しているのかという問題について指摘したものでし

た。画像解析的手法は非破壊的に根の動態を調べる手法として広く用いられていますが、自然状態における樹木根の分解過程を解明するためには、まだまだ、手法の開発を含めて多くの課題が残っていると感じました。また、根バイオマスに関する研究が多かったことも印象に残りました。新しい手法への挑戦が行われている一方で、根バイオマス研究の情報が基本となっていることを再認識しました。

学会終了後の9月5日はエクスカーションでウィーンの街から少し離れたschneeberg山を訪れました。まず印象に残ったのは、調査地に向かう途中で見た平地に成立している森林でした。私の認識では森林=山だったので、「あんなに平らだったら調査も楽そうだな」と思いながら、森林と一言で言っても、土地が変われば違うものだと実感しました。調査地に着いた後は、すばらしい景色を眺めながらMonika Sobotik博士の講義を聞き、根に対する情熱を感じました。何歳になっても根に興味を持ち続けるパワフルな姿を見て、自分も好奇心を持ち続けていきたいと感じました。

今回の国際根研究会シンポジウムへの参加・発表は、根研究会「苜住」海外渡航支援の援助を受けて、行わせていただきました。このような機会を与えていただいたことに深く感謝すると共に、今回の経験を活かして、根の研究の発展に貢献できるように努力していきたいです。



図 エクスカーションで訪れたschneeberg山の山頂
左から順に、唐原会長、福澤さん、松本。

7th Symposium of the International Society of Root Research (ISRR) Root Research and Applications (RootRAP)(第7回国際根研究学会シンポジウム)に参加して

山 本 梨 加

神戸大学大学院農学研究科森林資源学研究室

地中レーダ法を用いて樹木根の探知に関してポスター発表しました。内容は地中レーダを用いて野外に植栽されたクロマツの根を探知するという調査です。

樹木根の炭素蓄積量の評価に関しては、掘り取り法による破壊的な方法でのデータ採取がほとんどでした。近年になって地中レーダを利用した非破壊的なデータ採取の可能性が報告されてきました。

実際の野外において地中レーダは樹木根を探知できるかどうか、そして探知できた根はどのような直径のものであるのか、また地中レーダにおける探知できる割合はどれくらいあるのかという事を調査できる範囲で試みました。

結論を言えば、砂質土壌の場合では周波数 1.5GHz の地中レーダを用いれば、地表から深さ 30 cm 以内の範囲において最小樹木根直径 0.5 cm の根を探知できました。探知割合は根直径階級が 1.0-2.0 cm の根は 7 割程度あり、それ以上の根直径階級であれば 5 割程度でしたが、根直径階級が 0.5-1.0 cm の場合では 2 割程度しか探知できていないという結果でした。

初めての海外渡航に加えて、国際学会でのポスター発表という舞台を控え、緊張した日々を過ごしました。学会中は他の研究者の方達の口頭発表をそれこそ必死に耳を働かせて、聞き取れるだけ聞き取ろうと集中していました。おおまかな研究内容は把握できたものがいくつかありましたが、詳細をきちんと把握するにはやはり語彙が足りないことを痛感しました。

極短期留学のような雰囲気味わえた気がします。国外であってもこんなにも熱心に研究に取り組んでいる人達を実際に目の当たりにし、私自身も最善を尽くせるように頑張らねばと思いました。

いつか行ってみたいと思っていた海外と国際学会への参加というまさに夢そのものを実際に体験することができて、大変勉強になりました。

今回のオーストリアにおけるシンポジウムへの参加費用の一部は根研究会「荊住」海外渡航支援の援助を受けました。このような機会が得られたことに多大なる感謝をします。今回の経験を後に活かせるようにより一層努力したいと思います。

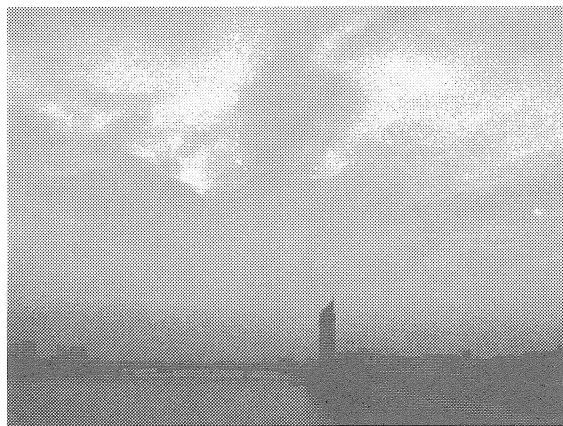
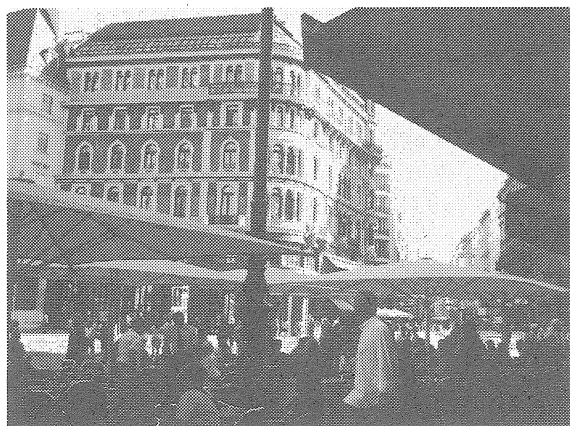


図 シンポジウムが開催されたオーストリアの街並みと風景

独立行政法人農業環境技術研究所 国際ワークショップ(2009 年 10 月 5 日-7 日) 「植物機能を利用した食品中重金属低減技術の開発」の開催報告

荒 尾 知 人

(独)農業環境技術研究所

10 月 5—7 日につくば国際会議場で「モンスーンアジアにおける農業環境問題と研究の挑戦」と題して、全体会議と 5 つのワークショップが開催されました。ワークショップ 1「植物機能を利用した食品中重金属低減技術の開発」についてご報告します。講演発表は海外 13 人、国内 5 人、ポスター発表は海外 4 件、国内 23 件でした。

10 月 5 日の全体シンポジウムでは Luo 氏(中国)が「アジア農耕地の重金属汚染の現状」について概要報告を行いました。10 月 6 日のワークショップ最初のセッションは「カドミウム汚染土壌のファイトレメディエーション技術開発」で Schwitzguébel 氏(スイス)はヒマワリ、Zhao 氏(英国)はグンバイナズナ、村上氏(農環研)は稲、Wu 氏(中国)は Sedum、Lee 氏(韓国)はポプラ、Rivero 氏(フィリピン)は Eichhornia などについて発表しました。次のセッションは「カドミウム低吸収作物の育種と植物のカドミウム吸収機構の解明」で、Grant 氏(カナダ)が低カドミウム品種の利用、石川氏(農環研)がカドミウム吸収機構、Lux 氏(スロバキア)カドミウム吸収における根の役割、荒尾(農環研)が接ぎ木を用いたカドミウム低減について発表しました。10 月 6 日最後のセッションは「ヒ素汚染土壌のバイオレメディエーション技術開発」で、Duxbury 氏(アメリカ)がバングラデシュヒ素汚染地下水の土壌ヒ素濃度と稲生産に与える影響、Sun 氏(中国)が稲のヒ素吸収機構、北島氏(株

フジタ)がヒ素汚染土壌のバイオレメディエーション技術の開発について発表しました。

10 月 7 日のセッションは「アジア地域におけるヒ素汚染の実態と対策」で、Kabir 氏(バングラデシュ)、Sukreeyapongse 氏(タイ)、Chen 氏(台湾)、Lee 氏(韓国)が各国の報告を行い、板井氏(愛媛大学)がバングラデシュにおける地下水ヒ素汚染機構とヒ素の供給源について発表しました。

10 月 8 日には兵庫県・生野銀山周辺で現地検討会を行いました。生野銀山は大同 2 年(807 年)に開坑し、明治以降機械化によりその生産量を向上させ、国内有数の大鉱山として稼行してきました。1973 年に閉山しましたが、その負の遺産として周辺水田の重金属汚染が進みました。高濃度汚染水田は客土工事により修復が終わり、その周辺の比較的カドミウム濃度の高い水田で、現在稲を用いたファイトレメディエーションの実証試験が行われています。今回は生野銀山資料館でヘビノネゴザなどの重金属超集積植物の観察を行った後、実証試験圃場を見学しました。10 月 8 日は丁度台風 20 号が日本に上陸した日でしたが、幸い姫路地方は暴風域からはずれ見学には支障はありませんでした。

今回のシンポジウムではポスター発表を含め有意義な意見交換がなされました。今後さらなるフォローアップを行い、情報交換、共同研究の進展を目指していきます。興味を持たれた方は是非ご連絡下さい。

独立行政法人農業環境技術研究所 国際ワークショップ(2009年10月6日-7日) 「農業研究におけるメタゲノミクスの展望」の開催報告

藤 井 毅

農業環境技術研究所

農耕地における土壌の生物学的性質や、窒素や炭素など地球上の自然界における物質循環を考える上で、土壌に生息する微生物の存在や機能を無視して論ずることはできないが、全土壌微生物の数パーセントしか対象にできないと言われている培養法に頼っていた時代では、土壌に生息する微生物の機能や役割はもちろん、土壌の生物学的性質を把握することは実質的に不可能であった。しかし、今日の急速な分子生物学的手法の進歩により、状況は一変しつつある。土壌や海水、湖沼などから直接抽出した DNA を一つのゲノム (メタゲノム) に見立て、メタゲノムの網羅的な遺伝子配列解析を行い、それぞれの環境中に生息する微生物の種構成や機能を解析するいわゆるメタゲノム解析技術が目覚ましい発展を遂げている。培養を経ずに土壌から直接抽出した DNA や RNA を用いたこれら新しい研究手法によって、これまで知り得ることができなかった土壌に生息する微生物群や、全く新しい機能を持った遺伝子の発見等を目指した研究が世界中で加速している。本ワークショップは、メタゲノム研究で世界的をリードしている研究者をはじめ、日本やアジアでメタゲノム解析に携わっている研究者を招聘し、メタゲノム解析技術の農業環境分野への展開を議論するために開催された。以下にその概要を紹介する。

東北大学大学院の南澤究教授は、「根粒着生変異と窒素施肥によるダイズ共生微生物群変化」という演題で、ダイズの幹及び根に共生する微生物群集の rRNA 遺伝子 PCR 産物を対象としたクローン解析と RISA (ribosomal intergenic transcribed spacer analysis) から、根粒着生変異と窒素施肥によるダイズ共生微生物群集構造の違いを解析した結果を報告した。東京大学大学院の妹尾啓史教授は、水田土壌の脱窒細菌群集を DNA-SIP (Stable isotope probing) 等の最

新の技術で解析した結果を報告した。特に、脱窒活性を持つ細菌の菌体細胞を特殊なマイクロマニピュレーターで単離し解析した報告は、これまでにない画期的な方法として注目を集めた。中国農業大学の Yahai Lu 教授は、C13 を用いた SIP によるリン皮質解析及び DNA・RNA 解析により、イネ根及び根圏に生息する細菌・古細菌叢を解析した結果を報告した。続いて、筆者は、PCR-DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis) を用いた農耕地土壌の微生物相解析研究 (eDNA プロジェクト) やメタゲノムウォーキング、マイクロアレイを用いた土壌微生物の遺伝子発現解析など、これまで農業環境技術研究所で行われてきたメタゲノム関連研究について報告した。香港大学の Boon Leong Lim 教授は、バイオインフォマティクス手法を用いて、窒素固定根粒菌群における TonB 依存レセプターの分布や、土壌のリン蓄積に大きく関与するフィチン酸分解微生物の分布と多様性を解析した研究を紹介した。オランダ、グローニンゲン大学の Jan Dirk van Elsas 教授は、「作物病害抑止土壌のメタゲノム解析」という演題で、EU の国々が作物病害抑止土壌を対象に、作物病害に効果が期待される酵素遺伝子や抗生物質遺伝子の大規模にスクリーニングした METACONTROL プロジェクトの概要を紹介した。オクラホマ大学の Jizhong Zhou 教授は、彼らが独自に開発した GioChip と呼ばれる網羅的に機能遺伝子を固定化したマイクロアレイを用いて、土壌のメタゲノム解析を行った最新の研究成果を報告した。日本のメタゲノム解析研究の第 1 人者である東京大学大学院の服部正平教授は、「メタゲノミクスによるヒト腸内細菌叢の機能解明」という演題で、複数の日本人の腸内細菌槽をメタゲノム解析により比較解析した結果を報告した。北海道農業研究センターの信濃卓郎博士は、日本で初めて根圏土壌微生物メタゲノムの網羅的なシーケンシ

ン解析を行った結果を報告し、植物根の状態が大きく根圏土壌微生物相に影響を及ぼすことを示した。フランス、リヨン大学の Pascal Simonet 教授は、「テラゲノム：標準土壌メタゲノムの完全配列解析のための国際公共コンソーシアム」という演題で、現在、ヨーロッパ各国がイギリスのロザムステッド研究所の実験圃場を対象に大規模なメタゲノム解析に取り組んでいる「テラゲノムプロジェクト」の概要を紹介した。フロリダ大学の Eric W. Triplett 教授は、最新の次世代型シーケンサーであるパイロシーケンサーを用いて、土壌微生物の多様性解析を行った研究成果を紹介した。名古屋大学大学院の渡邊健史博士は、「水田土壌中のメタン生成古細菌の群集構造は、安定しているが代謝活性は変動する」という演題で、強力な温室効果ガスであるメタンガスの水田からの発生に関与するメタン生成古細菌の群集構造を、DGGE やクロン解析で比較解析した結果を紹介した。茨城大学の太田寛行教授は、2000 年に噴火した三宅島の噴火堆積物における微生物群集と物質代謝の変遷を解析した結果を報告した。東北大学大学院の

津田雅孝教授は、IVET (in vivo expression technology) と呼ばれる手法を用いて、土壌特異的に発現する環境細菌遺伝子を解析した結果を報告した。長岡技術科学大学の福田雅夫教授は、PCB 分解菌 *Rhodococcus jostii* RHA1 株のゲノム遺伝子を固定したマイクロアレイを用いて、土壌中での本菌の網羅的な遺伝子発現解析を行った結果を紹介した。その他、ポスターセッションで、土壌のメタゲノム解析に関わる 16 の演題が報告された。

本ワークショップは、モンスーンアジアにおける持続的農業の確立を目指した国際研究協力に向けて、農業環境技術研究所が主催するモンスーンアジア農業環境研究コンソーシアム (The Monsoon Asia Agro-Environmental Research Consortium: MARCO) の国際シンポジウムに伴って開催された 5 つのワークショップの一つである。MARCO シンポジウム全体では、26 カ国から 445 名の参加を得て開催されたが、本ワークショップには、同時開催された 5 つのワークショップの中では最も多い約 180 名が参加し、その関心の高さが伺われた。

第 31 回 根研究集会に参加して

安彦 友美・山内 卓樹

東京大学大学院農学生命科学研究科

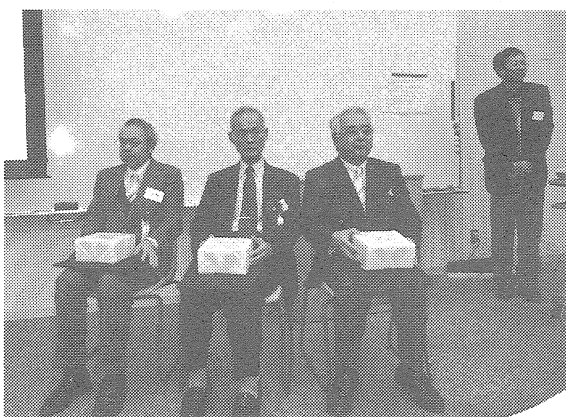
第 31 回根研究集会が 2009 年 11 月 21 日に、秋田県立大学で開催されました。集会では、15 演題の口答発表と 18 演題のポスター発表が行われました。イネ、コムギ、トマト、エンドウ、大豆、テンサイ、テオシント、トウモロコシ、ヤブツバキ、ナシ、アマをはじめとする多種多様な植物種の根に関する議論が活発に行われました。そして、塩、乾燥、湛水、栄養分など様々な環境条件での植物の適応機構や、根を非破壊に観察するなどの解析法の新たな進展、さらには生産現場での現象や応用面が期待される研究など、とても幅広く興味深い研究が報告されました。

受賞講演では、学術功労賞を受賞されました仁木輝緒先生(拓殖大学)により、嫌気条件で形成されるエンドウの根の空隙とその形成に関わる機構に関してご紹介いただきました。エンドウの根の空隙は低酸素濃度下やエチレン暴露によって形成されることが報告されました。また、実験を進める際、測定装置を自作されるなどの独自性が感じられる受賞講演でありました。学術特別賞を受賞されました川島長治先生(秋田県立大学)には、水稻の根群の発育、そして実際の生産現場での栽培法の違いと水稻生育の関連についてご紹介いただきました。秋田県の大潟村と南部とでの栽培法の違いが水稻生育にもた

らす現象は、興味深いと同時に栽培技術の改善に伴う収量増大にも応用されることが期待される講演でした。また、学術奨励賞は短根性準同質遺伝子系統(IL-srt1)における根系の形態・機能および地上部生育・収量との関係に関する研究で趙仁貴先生(吉林農業大学)が受賞されました。代理に一井眞比古先生(香川大学)によって、短根性のイネの変異体に関する研究が報告され、さらなる展開が期待されるように感じられました。お昼休みには、谷本先生によって、スロバキアの観光案内についてご紹介いただきました。スロバキアの食文化と自然についてのご紹介が印象に残りました。

私達は初参加でしたが、遠慮なく議論に参加できるようなアットホームな雰囲気、老若男女、「根」をキーワードに深く議論することができました。また、集会の際は、データに関しての議論が繰り広げられましたが、懇親会ではその裏話、展望、そして先生方からの多大なるエールをいただきましたことにも心強く感じました。

なお、本学会をもって、唐原一郎会長(富山大学)から巽二郎先生(京都工芸繊維大学)への会長の引継ぎが行われました。第 31 回根研究集会を運営された唐原一郎先生と小川敦史先生をはじめとする先生方に深く御礼申し上げます。なお、次回はつくばでの集会を楽しみにしております。



受賞された皆様 (左から仁木先生、川島先生、一井先生)



第31回根研究集会会場の秋田県立大学

2009 年 12 月 1 日受付

* 連絡先 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大学大学院農学生命科学研究科
Fax: 03-5841-5183 E-mail: abiko@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

第31回根研究集会 プログラム

会場：秋田県立大学 秋田キャンパス

会期：2009年 11月 21日 (土)

口頭発表 (大学院棟2階 M216号室)

8:30~9:40 受付 (大学院棟2階 M216号室前)

9:50~10:00 歓迎の辞 唐原一郎 会長

- 0-1 10:00~10:15 重粘土不耕起水田の土壤環境が水稻根活性と高温条件下における水稻収量に及ぼす影響
金田吉弘^{1*}・高橋大悟¹・田代卓¹・高階史章¹・佐藤孝¹ (¹秋田県立大学)
- 0-2 10:15~10:30 テオシント *Zea nicaraguensis* における根の通気組織形成能の変異とQTL解析
間野吉郎^{1*}・大森史恵¹・高橋秀和² (¹農研機構, ²秋田県立大学)
- 0-3 10:30~10:45 トウモロコシ (*Z. mays* ssp. *mays*) と テオシント (*Z. nicaraguensis*) の通気組織形成と湛水処理反応
川口健太郎^{1*}・間野吉郎² (¹農研機構作物研究所, ²農研機構畜産草地研究所)
- 0-4 10:45~11:00 過湿ストレスに対する根の発育的可塑性がコムギの耐湿性に果たす役割
林智仁^{1*}・吉田朋史²・藤井潔³・辻孝子²・山内章¹ (¹名古屋大学大学院生命農学研究科, ²愛知県農業総合試験場, ³愛知県立農業大学校)
- 0-5 11:00~11:15 イネの根の誘導的通気組織形成におけるエチレンの関与
山内 卓樹^{1*}・塩野克宏¹・安彦友美¹・Imene Rajhi¹・高牟礼逸朗²・堤伸浩¹・中園幹生¹・加藤清明³ (¹東大農学生命科学, ²北大農院, ³帯広畜産大)
- 0-6 11:15~11:30 テオシント (*Zea nicaraguensis*) の根の生理的特性に関する研究
安彦友美^{1*}・塩野克宏¹・間野吉郎²・中園幹生¹ (¹東京大学大学院農学生命科学研究科, ²畜産草地研究所 (那須))
- 0-7 11:30~11:45 圃場条件下で検証した深根性植物根系の灌漑機能
関谷信人^{1*}・古川秀隆¹・荒木英樹²・矢野勝也¹ (¹名大生命農, ²山口大学農学部付属農場)
- 0-8 11:45~12:00 九州北部地域における麦類の生育・収量・品質及び根量に及ぼす塩化カリウム追肥及び緩効性カリ肥料の基肥施肥の影響
土屋一成^{1,2*}・原嘉隆¹・中野恵子¹ (¹農研機構九州沖縄農業研究センター, ²現 東北農業研究センター)

12:00~13:00 昼休み (谷本先生のスロバキア観光案内)

13:00~13:30 授賞式・会務報告

13:30~14:00 学術功労賞：嫌気条件に対するエンドウの根の形態学的反応とその機構に関する研究
仁木輝緒 (拓殖大学)

14:00～14:30 学術特別賞：水稻における根群の発育に関する研究，ならびに乾物生産研究成果の生産現場への適用について

川島長治（秋田県立大学）

14:30～14:40 学術奨励賞業績紹介：水稻の短根性準同質遺伝子系統 *IL-srt1* の特性解析
趙仁貴（Zhao Rengui・中国吉林農業大学）

14:40～15:40 ポスター発表（セミナー室1 1階M115号室）

15:40～15:50 休憩

0-9 15:50～16:05 ヘアリーベッチのすきこみとアーバスキュラー菌根菌の接種が秋ウコンの初期生育に及ぼす影響

山脇賢治^{1*}・松村篤¹・M. A. ホサイン²・大門弘幸¹（¹大阪府立大学生命環境科学研究科，²琉球大学農学研究科）

0-10 16:05～16:20 塩ストレス条件下で栽培したトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌の接種—感染率の違いが接種効果に及ぼす影響—

服部林太郎^{1*}・阿部淳¹・森田茂紀²（¹東京大学大学院農学生命科学研究科，²東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場）

0-11 16:20～16:35 植物のフィチン利用能：水耕および土耕での比較

大西淳志^{1*}・矢野勝也¹（¹名古屋大学大学院生命農学研究科）

0-12 16:35～16:50 高品質米生産のための無効分げつ抑制栽培における登熟形質と根密度

三浦恒子^{1*}・金和裕¹・柴田智¹（¹秋田県農林水産技術センター農業試験場）

0-13 16:50～17:05 異なる根系発達を及ぼすアミノ酸の窒素利用と代謝

二瓶直登^{1*}・増田さやか²・頼泰樹³・中西友子²（¹福島県農業総合センター，²東京大学大学院，³秋田県立大学）

0-14 17:05～17:20 トマトの摘果に伴う茎からの不定根発生の品種差異と同化産物との関連

中野明正^{1*}・松田怜¹・淨閑正史²・鈴木克己¹・安東赫¹・高市益行¹（¹野菜茶業研究所，²電力中央研究所）

0-15 17:20～17:35 トマトにおける高温ストレス下での炭素収支多収性オランダ品種と日本品種の比較

権藤浩司¹・荒木英樹^{2*}・辻 渉³・加勢田乙志³・中野明正⁴（¹山口大学農学研究科，²山口大学農学部附属農場，³鳥取大学乾燥地研究センター・⁴野菜茶業研究所）

18時過ぎにバスで移動

19:00～21:00 懇親会（秋田ビューホテル）

ポスター発表（大学院棟1階 セミナー室1 M115号室）

P-1 ジャスモン酸生合成阻害剤の稲根成長に及ぼす影響

王敬銘^{1*}・吉澤結子¹・豊福恭子¹・小川敦史¹（¹秋田県立大学）

P-2 ヤブツバキ～オオバヤシャブシ混植林における窒素固定と養分動態

堀内達也^{1*}・巽二郎¹（¹京都工芸繊維大学生物資源フィールド科学教育研究センター）

P-3 カルシウムによるNaCl ストレス条件下のナシ台木種の根の伸長阻害の軽減

松本和浩^{1*}・辻 渉²・田村文男³（¹弘前大学農学生命科学部生物共生教育研究センター—藤崎農場，²鳥取大学乾燥地研究センター，³鳥取大学農学部）

- P-4 湛水条件での根表面近傍の酸素濃度と根内組織構造との関係
高橋三男^{1*}・仁木輝緒² (¹東京工専・物質工, ²拓殖大・工)
- P-5 畑条件下におけるNERICAの窒素吸収と出液速度の関係
松波麻耶^{1*}・松波寿典²・国分牧衛¹ (¹東北大学大学院農学研究科, ²秋田県農林水産技術センター農業試験場)
- P-6 アズキの初期生育に及ぼす菌根菌*Glomus aggregatum*の影響ー接種による耐湿性向上の可能性ー
小森二葉^{1*}・松村篤¹・大橋善之²・大門弘幸¹ (¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科, ²京都府農林水産技術センター丹後農業研究所)
- P-7 アミノ酸施用がトウモロコシの窒素吸収に及ぼす影響と菌根菌接種効果ー梅干調味廃液を用いた酵母培養によるアミノ酸液肥利用の可能性ー
谷口真司¹・松村篤¹・山脇賢治¹・高田智史^{2,3}・片山清範³・田中康弘³・中西久夫³・山本康雄³・平知明³・矢野勝也⁴・大門弘幸^{1*} (¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科, ²紀州高田果園, ³NPO 法人南高梅の会, ⁴名古屋大学大学院生命農学研究科)
- P-8 ルートモデルからみたテンサイ根系の形成過程について
吉田渡^{1*}・伊藤博武¹・小松輝行¹・吉田穂積¹ (¹東京農業大学生物産業学部)
- P-9 土壌環境の差異がアマの生育におよぼす影響
濱崎翔悟^{1*}・渡部紀子¹・豊福恭子¹・小川敦史¹ (¹秋田県立大学)
- P-10 X線CTによるイネ種子根における通気組織の可視化
坂東理史^{1*}・唐原一郎²・須藤宇道²・玉置大介³・上杉健太郎⁴・山内大輔³・峰雪芳宣³ (¹富山大・理・生物, ²富山大・院・理工, ³兵庫県大・院・生命理学, ⁴高輝度光科学研究センター)
- P-11 植物腫瘍遺伝子6bの発現によるタバコ根の形態変化
沢田泰樹^{1*}・加賀屋拓朗¹・小川敦史¹・高橋幸子¹・我彦広悦¹ (¹秋田県立大)
- P-12 植物腫瘍化タンパク質AK-6bの機能解析
加賀屋拓朗^{1*}・藤田直子¹・沢田泰樹¹・我彦広悦¹ (¹秋田県立大)
- P-13 Root Respiration and Porosity Development in Wheat Seedling in Response to Root Hypoxia in Combination with High Root Zone Temperature
Md. Alamgir Hossain^{1*}・Hideki Araki²・Tadashi Takahashi² (¹United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, Japan; ²Faculty of Agriculture, Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan)
- P-14 トマトのオランダと日本品種における根の通導コンダクタンスと根圧の比較
権藤浩司¹・荒木英樹^{2*}・辻 渉³・中野明正⁴ (¹山口大学大学院農学研究科, ²山口大学農学部附属農場, ³鳥取大学乾燥地研究センター・⁴野菜茶業研究所)
- P-15 オーキシンによるイネ側根メリステムサイズの制御
中村真也¹・出口崇¹・木富悠花¹・山内章¹・犬飼義明^{1*} (¹名古屋大学大学院生命農学研究科)
- P-16 低温土壌におけるイネの根長に関するQTL解析
手塚耕一¹・川本朋彦²・松本眞一²・眞崎聡²・小玉郁子²・佐藤(永澤)奈美子¹・櫻井健二¹・渡辺明夫¹・高橋秀和^{1*}・赤木宏守¹ (¹秋田県大生物資源, ²秋田農技セ農試)
- P-17 湛水条件下のダイズにおける二次通気組織を介した根粒への酸素供給
島村聡^{1*}・中村卓司¹・南條洋平¹・西澤けいと¹・藤郷誠¹・小松節子¹ (¹農研機構作物研究所)
- P-18 種々の堆肥施用が作物の遊離アミノ酸含量に与える影響について
橋本真明^{1*}・頼泰樹¹・中村進一¹・服部浩之¹ (¹秋田県立大学)

嫌気条件に対するエンドウの根の形態学的反応とその機構に関する研究

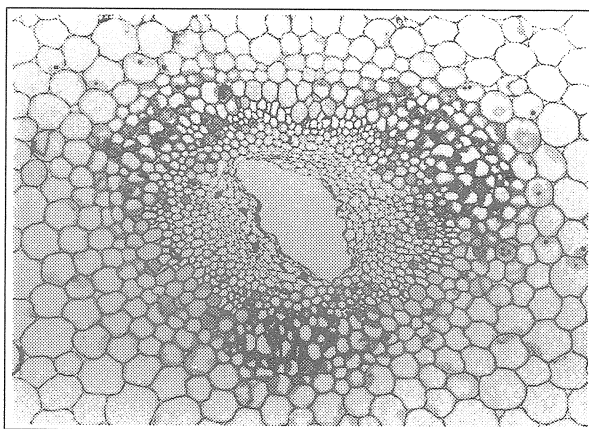
仁木輝緒 (拓殖大・工)

連絡先 (Email: tniki@la.takushoku-u.ac.jp)

私の過去20年にわたる根研究の歩みを語りたい。1992年1年間の留学に際し、受け入れ研究室から1編の論文の別刷りが送られてきた。それはエンドウを比較的高い温度で生育させると、根中心柱に空隙 (Cavity) が出来るというものであった。早速読んでみたが、空隙ができることによって生育等に重大な支障が生じるというものでなく、ただ形成されるということであった。他の比較的低温帯生育マメ科植物においても見られるということであり、成因は比較的高い温度で生育させたときにできるので、生育温度との関係が触れられているだけで、不明であった。私自身赴任地 (拓大) での活動が5年目で、研究テーマの模索をしているときであった。興味の如何に関わらず、これを機会に根学(?) をきちんと勉強してみたいと思った。そしてとにかく来てから議論しよう、ということになった。

光顕での報告であったので、電顕で詳細に観察しよう、ということになった。早速 Lab の手順にのっとり、播種育成させ、サンプリングをし、観察試料を始めた。試料作製、観察に関してはそれなりの技量を持っていると自負していたが、Cavity 形成が生じない根も多く、その中で Cavity を生じる根を探しながら観察を続けた。何とか Cavity 形成のプロセスを電顕で観察し終えたが、結局この Cavity 形成 (率) の問題は留学の間、解決できなかった。

種子が異なるのか、栽培条件 (温度・他) が問題なのか、帰国後論文執筆の際、再現性を含めて悩まされた。アラスカエンドウを種々のところから集め栽培条件を検討することにした。当然温度というファクターも種々変えてみた。その中で温度はもちろん高い (25℃以上) 方が Cavity 形成率が向上するのであるが、Cavity 形成は土壌の水分量の変化と密接な関係があることがわかった。



エンドウ根中心柱に生じる空隙 (Cavity)

湛水条件で空隙 (Cavity) ができる

実験室でエンドウをバーメキュライトに播種し、25℃暗黒で、発芽・育成させると 4~5 日で 5cm ほどの根の伸長になる。この時、種子の直下まで DW を入れると 24 時間後に根中心柱に柔細胞の崩壊による Cavity が 90% 以上の高率で形成される。ここで、Cavity 形成を起こす条件の一つは根が湛水処理によっておきることが示された。ここから湛水条件 (これによって誘導される嫌気条件) によって、根に Cavity 形成をするという形態学的な研究がスタートすることになった。なお、湛水処理によって生じる Cavity 形成のプロセスはそれまでの 25℃栽培で生じる Cavity 形成と同様な形態変化を示していた。

低酸素濃度環境下で空隙 (Cavity) 形成が起きることを確認

湛水処理という手法で Cavity を形成させることができたが、湛水という手法はどのような意味を持つのであろうか。水に含まれる酸素濃度は大気を比べ、もちろん十分に低い。それが嫌気条件といわれるゆえんでもあるのだが、一方では根は水を必要としている。必要とされる酸素、必要とされる水、この要素を分けて解析するために、湛水という手法を取らないで根成育環境のみを低酸素濃度に曝す装置を作成した。この装置の開発により低酸素濃度というストレスがダイレクトに Cavity を引き起こすということが明らかになった。

エチレン暴露によっても空隙 (Cavity) は生じる

イネ、トウモロコシ等のイネ科植物において湛水処理、エチレン暴露によって、根皮層柔組織細胞の崩壊が起きることが知られている。しかし、マメ科植物においては、このような現象は報告されていない。エチレンの柔組織細胞崩壊誘導の現象は崩壊メカニズムを解析する上でも、また崩壊の意義を探る上でも重要である。エチレン暴露の本格的実験ができるカリフォルニア大学デービス校に行くことにした。予

備実験の後、本実験を開始した。その結果、エチレン暴露はエンドウの皮層柔細胞を膨潤化させたが、その組織細胞を崩壊 Cavity を生じさせるということは起きなかった。一方中心柱柔組織細胞は細胞崩壊、それによる Cavity 形成が起きた。

空隙 (Cavity) 形成はアポトーシス様細胞死である

細胞崩壊は細胞のどのような死によって引き起こされるのであろうか。崩壊のプロセスは形態的に観察されていたが、その細胞死はいかなる方式なのであろうか。今日細胞死に関して動物、ヒト組織細胞を通じて多くの知見が得られている。つまりこの Cavity 形成時に見られる細胞死はネクロシスの細胞死なのかアポトーシスの細胞死なのであろうか、検討することにした。今、アポトーシスの細胞死とするなら、① DNA のラダー現象、②核形態学的観察、③細胞崩壊の形態、等を検討しなければならない。実験では電気泳動で DNA フラグメンテーションは観察でき、核クロマチンの濃縮・核形状の変化も既知のアポトーシス細胞死の現象と一致していた。Cavity 形成時に起きる細胞死はアポトーシス様細胞死であることが示唆された。

空隙 (Cavity) 形成の意義 (機能に対する考察)

それではこの様なストレスを与えられた時に生じる Cavity 形成はどのような意義があり、役割を担っているのであろうか。イネ科植物、特にイネに見られる皮層組織に見られるこの様な Cavity 構造は通気組織はといわれ、酸素の通り道と解されている。エンドウにおいても、酸素濃度が低下したときに、速やかに形成され、イネ科植物にける形成の諸条件と同様であることから、Cavity が酸素通過の役割を果たしているのではないかと考察している。機能に関しては仮定の域を超えていないが、今後の解明すべき課題と考えている。

主要執筆論文

D.K.Gladish and T.Niki 2008

Ethylene is involved in vascular cavity formation in pea (*Pisum sativum*) primary roots Plant Root 2: 38-45

Purbasha Sarkar, T.Niki and D.K.Gladish 2008

Changes in cell wall ultrastructure induced by sudden flooding at 25°C in *Pisum sativum* (Fabaceae) primary roots Am. J. Bot. 95: 782-792

D.K.Gladish, Jiping Xu and T.Niki 2006

Apoptosis-like programmed cell death occurs in procambium and ground meristem of pea (*Pisum sativum* L.) root tips exposed to sudden flooding. Annals of Botany 97: 895-902

仁木 輝緒・高橋 三男・ダニエル.K.グラディッシュ 2004

低酸素濃度空気発生装置および低酸素濃度空気曝露のための装置 拓殖大学理工学研究報告 9: 113-114

Teruo Niki and Daniel K.Gladish 2001

Changes in Growth and Structure of Pea Primary Roots (*Pisum sativum* L. cv. Alaska) as a result of Sudden Flooding. Plant and Cell Physiology, 42: 697-702

D.K.Gladish and T.Niki 2000.

Factors inducing cavity formation in the vascular cylinders of pea roots (*Pisum sativum* L., cv. Alaska) Environ and Exp. Bot. 43: 1-9

T. Niki, T.L. Rost and D.K. Gladish 1998.

Regeneration of tissue following cavity formation in the vascular cylinders of *Pisum sativum* (Fabaceae) primary root.

T. Niki, D.K. Gladish, P. Lu, and T.L. Rost 1995.

Cellular changes precede cavity formation in the vascular cylinders of Pea roots (*Pisum sativum* L., cv. "Alaska"). Int. J. Plant Sci. 156: 290-302.

水稲における根群の発育に関する研究, ならびに乾物生産研究成果の 生産現場への適用について

川島長治 (秋田県立大学) (khiroko@maia.eonet.ne.jp)

1. 根や葉の発育, 生理・生態からみた稲の収量増大

稲の収量の成り立ち: 単位面積当たり粒数と登熟歩合. 現実には穂数不足のために粒数が足りなく低収になっていることが多い. したがって収量増大のためにはまず穂数の増大が必要であり, その上で登熟歩合を高める. 前者は栽植密度や施肥法・水管理法等の改善により, 後者は一時的な澱粉の貯蔵器官である茎の伸長が始まる幼穂分化期頃からの乾物生産の増大, とくに出穂期後, および生産された澱粉の穂への効率的な移動による.

乾物生産の増大: 単位葉面積当たり光合成速度, 葉面積, 受光態勢 (能率) または個体群の葉の立体配置 (生産構造. 垂直と水平), 葉の窒素含有率, 呼吸の強さ, 澱粉の穂への効率的な移動: 稲体の適度な (過剰でない) 窒素含有率, 下位葉から穂への窒素の移行と登熟期間中の窒素の持続的吸収. 穂の澱粉受け入れ能力の低下防止.

稲の登熟期における乾物重の推移の例 [秋田県大潟村 (10a 当たり収量およそ 610kg. 1996 年)]: 穂揃い期; 892.0g/m², 収穫期; 1522.2g/m² (収穫指数は 47.4). 登熟期間中に 630.2g と 40% 強増加. その 2/3 以上が出穂期後に. これらには, 登熟期における根と地上部の生理・生態が大きく関係する.

稲の根群の発育や大潟村の乾物生産研究から考えた栽培理論については著者らの日本作物学会紀事第 78 巻第 3 号掲載論文を参照されたい.

2. 最近とくに痛感し, 実践していること. - 乾物生産研究成果の稲生産現場への適用 -

従来の収量構成要素のような, いわば形に止まらず乾物生産の動き, さらに個体群生長速度 (CGR) や純同化率 (NAR) などにも着目して生育の様相を把握し, その結果を栽培技術の改善, すなわち収量の増大に役立てる. その際農家の人が利用しやすいよう, 高価な機器によるのではなく 1m の物差しと電卓と簡単な「秤」によって (農業改良普及所や農業高校のような農業関係の機関を含め, 通風乾燥機や電子天秤が無い所は以外に多いようである).

数株の採取試料から, 試料を代表する 30 本の茎を選び, 葉の面積, すなわち葉面積指数 (LAI) は葉身の長さ (最大幅) の測定により (m² 当たり栽植密度や株当たり穂数は事前に調査しておく), 乾物重はそれら測定茎の風乾重によって求め, それらによって生長解析を行なう (川島 2008). なお従来の生長解析において, 葉面積は「比葉面積 (specific leaf area, SLA)」によって求めている場合が多いがその値は正しくなく, 純同化率が比較的小さめに算出されると考えられる.

3. 「根」の研究に取り組んだ動機

「根」の研究を志した動機：学生時代に、戸荏義次・菅六郎著「食用作物学」（養賢堂）を読んで片山佃先生が発見された「稲の同伸葉・同伸分けつの関係」を知り（先生に教えられて、ではなく自ら興味ある法則を見つけた喜び・興奮もあった）稲に興味を持つ。直後に藤井義典先生が、根においても類似の関係があることを見つけられたことを知る。それならば、それら葉や根の出現の規則性に基づいて根の発育を研究したら面白いと考えた。併せて稲の研究をやりたいが、やれるならば「本流」の仕事をしたかった。

研究者のあるべき姿：稲の根群の発育に関する研究の結果と、特異な水管理がなされる大潟村の稲が提供する生理・生態的性質とから稲の栽培理論を考えたが、研究者は、研究生活を終えるに際して自分が行った仕事とその当該分野でどのような位置を占めるか、あるいは栽培技術に対してどのような提言ができるか総括する必要がある。それを実践された尊敬すべき先人として光合成・物質生産研究から多収理論を構築された松島省三、武田友四郎、角田重三郎、村田吉男、田中明、津野幸人先生ら、施肥についての研究から同様なことをされた田中稔、和田源七先生らがおられる。

付随して、できれば一生の間に研究フィールド（研究機関）を2・3回変えることが望ましいと考える。そうすることによってそれぞれの地で行った研究の相互比較ができ、一つの研究機関では見えなかった事実が発見できるように思われる。

水稻の短根性準同質遺伝子系統 IL-*srt1* の特性解析

趙 仁貴 (中国・吉林農業大学農学院作物育種研究室)

(E-mail: zhaorengui2006@yahoo.co.jp)

作物の生育や収量性改善にとって根に関する遺伝的情報は大きな意味を持っている。また、根に関する遺伝機構を解明するためには突然変異体の利用が有効と考えられている。こうしたことから近年、水稻においても突然変異体を利用した根の遺伝機構を解明するための研究が多数行われている。しかし、これまでの研究では、養液栽培やポットで栽培した幼植物を対象にした例が多い。そこで、本研究ではオオチカラ由来の短根性準同質遺伝子系統IL-*srt1*をポットおよび圃場において収穫期まで栽培し、短根性遺伝子*srt1*が根の形態や分布、生理機能、地上部の生育や収量などに及ぼす影響を解明しようとした。

IL-*srt1*の幼苗の種子根端の細胞をオオチカラと比較したところ、IL-*srt1*の細胞長は短かったが、細胞幅は広い傾向にあり、根径方向の細胞数にも差はなかった。このため、IL-*srt1*は根の細胞密度が高く、根全体の太さもオオチカラよりやや太かった。すなわち、IL-*srt1*の根には短い幅広の細胞が密に分布していた。

栽培条件、試験年次にかかわらず、ほとんどの場合、IL-*srt1*の株当たり地上部乾物重および茎数はオオチカラを下回ったが、株当たり冠根数と茎当たり地上部乾物重に差はなかった。また、総根重と総根長はオオチカラより明らかに少なかったが、根重/根長比はIL-*srt1*の方が高かった。また、IL-*srt1*は土壌中の根長密度が低く、根域が狭かった。これらより、オオチカラとIL-*srt1*の株当たり地上部乾物重の差には根域の広狭による養水分吸収量の多少に基づく茎数の違いが影響していること、IL-*srt1*の根長はオオチカラよりも短い、1茎当たりの冠根数が多く、またエイジが若い冠根の割合が高いことでオオチカラと同程度の1茎当たり養水分吸収量が確保されていること、このため1茎当たりの地上部乾物重にほとんど差が現れないことなどが示唆された。

これらを検証するために、茎基部からの出液量を比較したところ、株当たり出液速度はIL-*srt1*の方が低かったが、1茎当たり出液速度に差は認められなかった。また、根量(根長、根重)当たりの出液速度はオオチカラを上回っていた。したがって、IL-*srt1*の根の養水分吸収量、すなわち根全体の生理機能はオオチカラより劣るが、これは根量が少ないためであり、個々の根の生理活性はオオチカラよりも高いと考えられた。IL-*srt1*の個々の根の生理活性が高いことは、根が太く根細胞密度が高いことに関連していると推測された。葉の光合成関連特性にもオオチカラとの間に違いはみられなかった。また、登熟期後半の出液速度および葉色値の低下はIL-*srt1*の方がオオチカラよりも小さかった。

IL-*srt1*の収量はオオチカラより32%少なかった。いずれの収量構成要素もIL-*srt1*の方が低かったが、中でも登熟歩合の低下が収量の減少に最も強く影響していた。総粒数が少ないことは茎数の減少に伴う穂数不足に、1000粒重の低下は葉面積不足による出穂前乾物生産量の低さに起因していた。また、登熟歩合を稔実歩合と稔実粒登熟歩合に分割して検討したところ、IL-*srt1*の稔実歩合は低かったが、稔実粒登熟歩合はオオチカラを上回っていた。IL-*srt1*の稔実粒登熟歩合が高いことには、登熟後期における根の機能(出液速度)や光合成能力(葉色)の低下がオオチカラよりも小さいことが影響していると推測された。しかし、稔実歩合が低い理由を明らかにすることはできなかった。

今回の受賞に際し、ご推薦いただいた東京大学の森田茂紀先生はじめ審査員の先生方から心からお礼申し上げます。また、本研究を進めるにあたりご指導いただいた香川大学の井眞比古先生、武田真先生、楠谷彰人先生、豊田正範先生に感謝いたします。

O-1 重粘土不耕起水田の土壌環境が水稻根活性と高温条件下における水稻収量に及ぼす影響

金田吉弘・高橋大悟・田代 卓・高階史章・佐藤 孝

秋田県立大学 生物資源科学部 (連絡先 ykaneta@akita-pu.ac.jp)

【はじめに】

近年、我が国では夏の気温が高く推移し、水稻では広い地域で千粒重の減少や玄米外観品質低下などが問題となっている。寒冷な東北地域においても、今後は夏季高温年の頻度が増加すると予測される。そのため、登熟期の高温による品質低下や収量停滞を軽減する有効な対策が求められている。本報告では、高温に対する重粘土の土壌管理方策に関する基礎的な知見を得るために、不耕起水田と慣行の代かき水田において土壌の理化学性と水稻根活性を測定するとともに登熟期に高温処理を行い水稻収量に及ぼす影響を検討した。

【材料と方法】

調査は、2006年に八郎潟干拓地内にある秋田県立大学生物資源科学部フィールド教育研究センターの代かきおよび不耕起水田で行った。土壌は、両圃場とも強粘質の細粒強グライ土である。4月16日に深さ70 cmまでの土壌を採取し、三相分布を測定した。また、水稻根圏(水稻株を中心とした横30 cm、深さ25 cm内の25ブロック)における土壌酸化還元電位と根の分布、生育期間の出液速度などを調査した。高温処理は、穂揃期(8月17日)から成熟期(10月3日)まで圃場内にビニールハウス(長辺4 m×短辺3.5 m×高さ3 m)を設置して行い、ハウスの内と外的水稻収量を比較した。供試品種はあきたこまちとし、基肥は 5.0 N g m^{-2} をシグモイドタイプ溶出特性をもつ60日タイプの肥効調節型肥料による育苗箱全量施肥で行い、無追肥とした。

【結果と考察】

表層の気相率は、代かき区に比べて不耕起区で高かった。両区とも深さ0~10 cmの酸化還元電位は-200 mV程度の還元部が多く、特に代かき区では-200~-400 mVの強還元部が存在した。深さ10 cm以下の不耕起区では、+200~+500 mVと酸化的であったのに対して、代かき区では-200~+300 mVと還元部から酸化的な部分まで不均一な分布であった。不耕起区的水稻根は、代かき区に比べ深く伸張しており、水稻根量は代かき区より多かった。不耕起区では2価鉄が少なく、根量との間には負の相関が認められた。7月中旬から8月下旬にかけての不耕起区の出液速度は、代かき区に比べ高く推移した。穂揃期における葉面積当たりの窒素含量はいずれの葉位においても不耕起区が多かった。この要因として、不耕起区では土壌還元の進行が遅く酸化的な根圏環境が継続したため、水稻根活性が高く維持されたことが考えられた。高温処理により、代かき区では登熟歩合、千粒重が低下したのに対して、不耕起区では登熟歩合は低下したものの千粒重は低下しなかった。その結果、登熟期の高温処理による収量への影響は、不耕起区に比べて代かき区で大きかった。

このことから、重粘土における酸化的な土壌環境は、水稻根域の拡大や水稻根活性を高め、水稻収量に対する登熟期高温の影響を軽減することが明らかとなった。今後、高温対策として土壌環境の改善が重要であり、重粘土水田では耕起方法の検討が必要であると考えられた。

O-2 テオシント *Zea nicaraguensis* における根の通気組織形成能の変異と QTL 解析間野吉郎^{1*}・大森史恵¹・高橋秀和² (¹農研機構, ²秋田県立大学)

(*連絡先: mano@affrc.go.jp)

【はじめに】

テオシント *Zea nicaraguensis* は、イネや水生植物と同様に好気条件下においても根の発達に伴い通気組織が形成される。これまでに著者らは *Z. nicaraguensis* の種内でも通気組織が出来やすい個体と出来にくい個体が分離していることを明らかにした。本研究ではその遺伝的要因を明らかにすることを目的に、*Z. nicaraguensis* の自殖後代で生じた分離集団を用いて QTL 解析を行った。

【材料および方法】

実験には後代で通気組織形成能が分離することがわかっている *Z. nicaraguensis* (USDA, PI 615697) の 1 粒を自殖させた S1 世代 96 個体を供試した。植物体を高さ 30cm の 1/10000a のポットに 1 個体ずつ 6 葉期まで通常栽培条件下で生育させた。下位から 2 番目の節根 2 本の根端から 10-15cm の部位について通気組織を観察した。通気組織の大きさは 0 (無), 0.5, 1, 1.5, 2 (大) の 5 段階で評価した (大森 2008, 根の研究 17:137)。表現型のデータと自殖後代の集団で多型を示す 38 の DNA マーカーにより作成した連鎖地図を用いて QTL Cartographer により QTL 解析を行った。LOD スコアが 2.5 以上を有意な QTL とした。

【結果および考察】

Z. nicaraguensis の自殖集団における通気組織形成能は 0.1 から 1.9 (平均 1.1) の連続変異を示した。Single point regression analysis によって通気組織形成能に関連する QTL の位置と効果を推定したところ、第 1 染色体 (*Qaer1.07*; LOD=4.7), 第 3 染色体 (*Qaer3.023*; LOD=2.9) および第 7 染色体 (*Qaer7.01*; LOD=2.9) に有意な QTL が見出された。

今回見つかった第 1 染色体の *Qaer1.07* は、位置関係から B64 x *Z. nicaraguensis* の F₂ 集団において報告された *Qaer1.07* と同一であると考えられる。自殖集団の中から *Qaer1.07* のみをホモで持つ個体、および 3 つの QTL をいずれも持たない個体を選び採種を進めており、そこで得られる系統は準同質遺伝子系統として通気組織の機能解析への利用が期待できる。

【謝辞】

テオシント *Z. nicaraguensis* は USDA-ARS と CIMMYT より分譲いただいた。また、本研究は平成 20 年度 (財) サッポロ生物科学振興財団研究助成および生研センターイノベーション創出事業「イネ科作物の耐湿性に関わる通気組織形成能の機構解明」により実施された。

O-3 トウモロコシ(*Z. mays ssp. mays*) とテオシント(*Z. nicaraguensis*) の 通気組織形成と湛水処理反応

川口健太郎^{1*}・間野吉郎²

¹農研機構 作物研究所・²農研機構 畜産草地研究所

(*連絡先 kentaro@affrc.go.jp)

【はじめに】

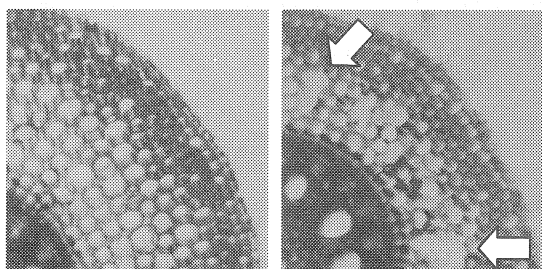
わが国では、麦類など畑作物を水田転換畑で栽培する際に生じる湿害が問題となっていることから、イネ科作物における耐湿性遺伝資源としてトウモロコシの近縁種テオシントに着目し、その通気組織形成能の導入によるコムギ耐湿性向上の可能性を検討している。本研究は、テオシントの根の通気組織形成過程を理解するため、トウモロコシとテオシントの短期間（3日間）の湛水処理の影響をポット試験により比較したので報告する。

【材料と方法】

トウモロコシ(*Z. mays ssp. mays*)自殖系統 Mi29 及びテオシント(*Z. nicaraguensis*: 根に恒常的な通気組織が顕著に発達するニカラグアのテオシント)は、それぞれ、農研機構九州沖縄農業研究センター並びに CIMMYT (国際トウモロコシ・コムギ改良センター) より分譲いただいた種子を用いた。これらは 1/10000a のポットで温室にて生育させ、第 6 葉抽出期に地表面上の水深 3 cm で 3 日間湛水処理し、地上部及び地下部の生育データを測定すると共に、第 1 節根の根端から 5, 10, 20, 30cm 及び基部の横断切片を作成し通気組織の観察を行った。

【結果と考察】

テオシントの生育の特徴をトウモロコシと比較すると、地下部乾重が大きく、根端から 5 cm の根径が太い（約 1.3 倍）傾向がみられた。3 日間の湛水処理は、地上部よりも地下部の乾重の低下をもたらした。通気組織は、トウモロコシの根では非湛水条件（対照）及び湛水条件でもほとんど観察されなかった。一方、テオシントの根では非湛水条件で根端 5～30cm のほぼ全長にわたり恒常的通気組織が観察された。テオシントであっても根の基部には恒常的通気組織はほとんど認められないが（図 1 左）、湛水処理後 3 日目には通気組織が観察された（図 1 右）。従って、テオシントは恒常的通気組織に加え、湛水条件となると根の基部に新たに通気組織を誘導することで、比較的短期間に根の基部から先端まで連絡した通気経路を形成するものと考えられる。



(図 1) テオシントの根の「基部」の横断切片像

左：非湛水条件（対照）

右：湛水条件（処理後 3 日目）

皮層部に通気組織が形成されている（矢印部分）

(本研究は生研センターイノベーション創出事業により実施された。また、東京大学中園幹生博士及び作物研究所小柳敦史・安倍史高、両博士より有益なご助言をいただいた。)

参考文献：安倍史高ら(2009)農業及び園芸 84(7):739-745

O-4 過湿ストレスに対する根の発育的可塑性がコムギ耐湿性に果たす役割林 智仁^{*1)}・吉田 朋史²⁾・藤井 潔³⁾・辻 孝子²⁾・山内 章¹⁾

(1 名古屋大学大学院生命農学研究科・2 愛知県農業総合試験場・3 愛知県立農業大学校)

(連絡先 hayashi.tomohito@g.mbox.nagoya-u.ac.jp)

著者らはこれまで 10 年以上にわたって国内外から収集した 144 品種／系統を供試して耐湿性を評価し(吉田ら 2008), その結果を踏まえ, 2006-2008 年の 3 年間, 耐湿性の異なる品種間で過湿土壌に対する根系の発育, 機能的反応を比較し, 耐湿性の強い品種は弱い品種に比べ, 過湿条件下での根系発達の抑制程度が小さいことを見出した(林ら 2006, 岡田ら 2007, 林ら 2008). また, 水耕実験での嫌気条件下において, 耐湿性の強い品種は弱い品種に比べ, 節根内の通気組織の形成やそれに伴う酸素運搬能力, さらにその節根上の側根の発達において優れていることも見出した(林ら 2009). そこで本研究では, 圃場の過湿土壌条件下における根通気組織の形成能力が, 根系発達や機能の維持を通じて, どのように耐湿性に貢献しているかを耐湿性の異なる品種間比較から明らかにしようとした.

【材料と方法】 愛知県農業総合試験場の耐湿性検定圃場で栽培した 144 品種の中から, これまでの研究により耐湿性が強いとされたニシカゼコムギ(吉田ら 2008), イワイノダイチ(吉田ら 2004), 極弱の UNICULM(吉田ら 2006)の 3 品種を供試した. 茎立ち期が過ぎた 2009 年 4 月 14 日に過湿処理を開始し, 処理開始 1 日前, 処理開始 17 日後, 31 日後および地上部収穫(処理開始 49 日後)後の計 4 回, 円筒モノリス(直径 15cm, 高さ 20cm)を用いて根系を採取し, 深さ 5cm 毎の根長密度, 節根数および過湿処理開始以降に伸長した節根の空隙率を測定した. また, 処理開始以降, 葉身水ポテンシャル, 気孔伝導度, 光合成速度を継続的に測定し, 成熟期には, 子実収量・収量構成要素を調査した.

【結果と考察】 過湿処理による根長密度への影響を見ると, ニシカゼコムギでは, 処理開始から収穫期まで, 処理による有意な影響は認められなかった. それに対し, イワイノダイチと UNICULM では, 処理開始 31 日目以降, 表層(0~10cm)で処理による有意な低下が認められた. 節根数は, ニシカゼコムギでは, 処理開始 31 日目以降, 有意に増加したのに対し, UNICULM では, 処理開始 17 日目以降, 有意に減少した. 一方, イワイノダイチでは, 処理による有意な影響は認められなかった. 葉身水ポテンシャルは, 過湿処理によって, UNICULM では処理開始後 9 日目, イワイノダイチでは 22 日目, ニシカゼコムギでは, 27 日目から対照区に比べて有意に低下し始めた. 同様に, 気孔伝導度, 光合成速度においてもこの順番で低下し始めた. 節根の空隙率は, ニシカゼコムギでは, 過湿処理によって対照区の約 3 倍に増加したのに対し, UNICULM では, 対照区の約 1/2 に減少した. また, イワイノダイチでは, 処理による有意な影響は認められなかった.

ある遺伝子型が環境に応答して表現型を変化させる能力を可塑性と呼び(O'Toole and Bland, 1987), 根系の発育的可塑性が作物のストレス耐性にとって重要な機能的役割を果たしていることを著者らは明らかにしてきた(Yamauchi et al., 1996; Wang and Yamauchi, 2006). 本研究の結果は, コムギの耐湿性にとって, 過湿土壌条件下での通気組織の形成能力が鍵になる形質であり, その能力が高いことによって節根みずからの伸長とそこからの分枝(側根発育)を維持または促進し, 分げつからの発根と合わせて, これらの総合的反応として根系全体の可塑性が発揮されたことを示している. この根系の可塑性が, 高い吸水能力, それを反映した気孔伝導度, 光合成能力を通じ, 耐湿性(過湿条件下での収量形成)に貢献したと考えられる.

【引用文献】 林ら(2006)東海作物研究 137:18. 岡田ら(2007)根の研究 16(4):191. 林ら(2008)日作紀 77(別 2):254-255. 林ら(2009)日作紀 78(別 2):162-163. 吉田ら(2008)育種学研究 10(別 1):60. 吉田ら(2004)育種学研究 6(別 2):290. 吉田ら(2006)育種学研究 8(別 1):196. O'Toole and Bland 1987. Adv. Agron. 41: 91-145. Yamauchi et al. 1996. In Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics. (eds. Ito, O. et al.). pp. 211-233. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba. Wang and Yamauchi 2006. In Plant-Environment Interactions (3rd) (ed. Huang, B.). CRC Press, New York. pp. 271-320.

O-5 イネの根の誘導的通气組織形成におけるエチレンの関与

山内 卓樹^{1*}、塩野 克宏^{1,2}、安彦友美¹、Rajhi Imene¹、
高牟礼 逸朗³、堤伸浩¹、中園 幹生¹、加藤 清明⁴

1. 東大農学生命科学・2. 日本学術振興会特別研究員・3. 北大農院・4. 帯広畜産大

(*連絡先 E-mail: atkyama@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

イネは、嫌氣的な過湿土壌においても、障害を受けることなく正常に成長することができる。その要因の1つとして、根の皮層に形成される通气組織を介した、根端部への効率的な酸素供給が挙げられる。コムギ、トウモロコシなど耐湿性の低い畑作物も、根が嫌気環境下に置かれることで誘導的に通气組織を形成するが、イネは好気環境下においても恒常的に通气組織を形成するとともに、誘導的な通气組織をより広範囲に形成することで、高い耐湿性を獲得している。

これまでに、我々が行ってきた通气組織形成の基礎的な解析から、野生型のイネにおいては、根の基部側では恒常的に、根端部側では嫌気誘導的に通气組織が形成されることが明らかとなった。これに対して、誘導的通气組織形成能の低下した *rcn1* (*reduced culm number 1*) 変異体では、嫌気条件下においても根端部の通气組織がほとんど誘導されないことがわかった。その原因を解明するために、エチレン応答性遺伝子の転写解析を行ったところ、いくつかの遺伝子の転写が野生型と *rcn1* 変異体では異なっていることが示された。続いて、誘導的通气組織形成におけるエチレンの影響について考察するために、好気条件下においてエチレンの前駆体である ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) をそれぞれ 0、1、10 μ M 添加した水耕液で植物体を生育させて、通气組織形成を経時的に観察した。その結果、野生型においては、通气組織形成が ACC 濃度依存的に誘導されること、一方、*rcn1* 変異体では野生型と比較して根のエチレンに対する感受性が低下していることが示された。

今後、マイクロアレイによって野生型、*rcn1* 変異体における遺伝子発現の全体像を比較解析することで、誘導的通气組織形成に関与する重要な遺伝子の同定を目指す。

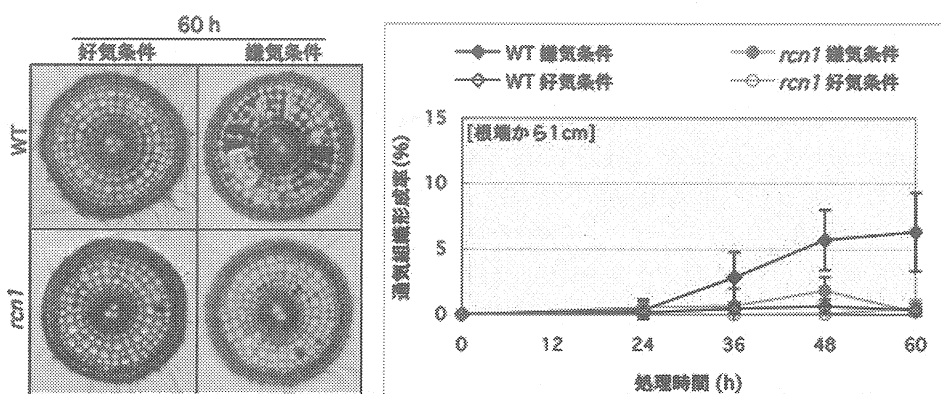


図 野生型のイネ (WT) と *rcn1* 変異体の冠根における嫌気条件下及び、好気条件下の通气組織形成 (左) 処理 60 時間後における冠根の横断切片。(右) 処理 12 時間毎の通气組織形成率の解析。

[本研究は (独) 農研機構・生研センターのイノベーション創出基礎的研究推進事業の助成により推進された。また、作物研究所の小柳敦史博士、川口健太郎博士、安倍史高博士及び畜産草地研究所の間野吉郎博士より有益なご助言をいただいたことに感謝の意を表する。]

O-6 テオシント (*Zea nicaraguensis*) の根の生理的特性に関する研究安彦友美¹, 塩野克宏^{1,2}, 間野吉郎³, 中園幹生¹¹東京大学大学院農学生命科学研究科, ²日本学術振興会特別研究員, ³農研機構・畜産草地研究所

(連絡先 abiko@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

Zea nicaraguensis は、中米ニカラグアの湿地帯で発見されたテオシントの一種である (Iltis and Benz, 2000)。トウモロコシなどの畑作物は排水性の低いような土壌で湛水状態が続くと、土壌中の酸素濃度が低下し、しばしば湿害を被ることが報告されている (Mano and Omori, 2007)。だが、*Zea nicaraguensis* は地面からの水位がときには0.5mになるような地域でも草丈が5mにも達することができ、耐湿性が強い (Iltis and Benz, 2000)。その後の研究により、*Zea nicaraguensis* は、根に恒常的な通気組織を形成し、さらに湛水条件では地表に不定根を発達させることが報告されている (Mano et al., 2008, 2009)。一般的に耐湿性の高い植物の根は、通気組織と地表根の形成に加え、根の基部からの酸素漏出を防ぐバリア (Barrier to Radial O₂ loss) を形成して根端へ酸素を効率的に輸送させていることが知られている。しかし、*Zea nicaraguensis* が根にバリアを形成するかどうかは不明である。本報告では、好氣的な条件と嫌氣的な条件での *Zea nicaraguensis* の初期生育を観察すると同時に、*Zea nicaraguensis* の根の生理的特性について理解を深めることを目的とした。

発芽処理後4日目の *Zea nicaraguensis* の幼苗を、好氣的あるいは嫌氣的な条件に調整した水耕液に移植後、約2週間育成した。ここで、好気条件とは、エアポンプを用いて水耕液内にたえず酸素がいきとどくようにした条件を示す。一方、嫌気条件とは、0.1% (w/v) 寒天を含む水耕液の溶存酸素濃度を1mg/L以下にした条件を示す。草丈は好気条件のほうが高く、根長も好気条件のほうが長かった。根の横断切片を観察した結果、好気条件よりも嫌気条件のほうが通気組織は顕著に形成されていた。さらに、*Zea nicaraguensis* の根の酸素輸送特性を調べるため、円筒型酸素電極を用いて根表面からの酸素の漏出量を測定した。その結果、好気条件で育成した *Zea nicaraguensis* の根からの酸素漏出量は、根端で少なく、基部に近づくにつれて徐々に増加していた。一方、嫌気条件で育成した *Zea nicaraguensis* の根からの酸素漏出量は、根端で多く、基部に近づくにつれて徐々に減少していた。したがって、*Zea nicaraguensis* の根は、嫌気条件への適応に重要な通気組織を発達させるだけでなく、基部からの酸素漏出を防ぐバリアを誘導的に形成して根端へ酸素を効率的に輸送させている可能性が示された。

なお、本研究は、(独) 農研機構・生研センターのイノベーション創出基礎的研究推進事業の助成により推進された。また、農研機構・作物研究所の小柳敦史博士、川口健太郎博士、安倍史高博士と畜産草地研究所の大森史恵氏より有益なご助言をいただきましたことに、感謝の意を表する。

O-7 圃場条件下で検証した深根性植物根系の灌漑機能関谷信人^{1*}・古川秀隆¹・荒木英樹²・矢野勝也¹¹名古屋大学大学院生命農学研究科・²山口大学農学部附属農場

(*連絡先 e-mail: kapinivilage@yahoo.co.jp)

【背景】根が乾いた土壌と湿った土壌を貫通していると、その根を介して水が移動する。これを hydraulic redistribution という。深根性植物では、根系が乾いた浅層土壌から湿った深層土壌へ発達し、水は根を介して深層から浅層へポンプアップされる。これを特に hydraulic lift (HL) と呼ぶ。ポンプアップされた水はその植物自身に再吸収されるだけでなく、隣接して生育する浅根性植物によっても吸収利用される。すなわち、HL を灌漑技術として利用できる可能性がある。私たちは、これまでにキマメの灌漑機能を圃場条件下で実証した (Sekiya & Yano, 2004)。さらに、プランター試験により水供給能がキマメより優れる深根性植物種 (HL 植物) を見出した (水本ら 2006)。そこで本研究では、それら HL 植物の灌漑機能を圃場条件下で検証した。

【材料と方法】2007年3月～10月、島根大学神西砂丘農場で試験を実施した。ギニアグラス、トールフェスク、シロクローバ、スミズブロムグラス、サンヘンブ、キマメを HL 植物として供試した。各実験プロット (3m×1.5m) の中央線上に9週齢の苗を0.15m間隔で移植した。ビニルハウスで降水を遮断し、点滴灌漑により HL 植物を生育させた。移植後110日目に HL 植物の地上部を切除した。また、HL 植物の片側に発達した根を切断し、逆側の根のみインタクトにした。移植後130日目、HL 植物の両側に0.1m×0.05m間隔でコマツナを播種した。コマツナの生育期間中サーモグラフィーで葉温を測定した。播種後45日目にコマツナを収穫し新鮮重を測定した。

【結果と考察】インタクト根側に生育するコマツナは新鮮で張りのある葉を維持していたのに対して、切断根側に生育するコマツナの葉は水分欠乏で萎れていた。また、インタクト根側のコマツナは切断根側に比べて葉温が低く、蒸散速度が高いことを示していた。インタクト根の HL により水を供給されたコマツナは、その水を利用して気孔開度を増加させたと考えられる。気孔開度の増加は光合成速度も増加させたと考えられ、その結果としてコマツナの新鮮重は増加した。新鮮重の増加は、トールフェスクおよびギニアグラスにおいて顕著であった。本研究で供試した HL 植物、特にトールフェスクとギニアグラスは圃場条件下でも灌漑機能を発揮し、隣接するコマツナの生育を促進することが実証された。

【参考文献】Sekiya N. and Yano K. (2004) Field Crops Research 86: 167-173.

水本有紀・関谷信人・矢野勝也 (2006) 根の研究 15:178

【謝辞】平成17年度産業技術研究助成 (NEDO 技術開発機構) および科研費 (17688015、20380178) の支援を受けて本研究を実施しました。ここに記して謝意を表します。

O-8 九州北部地域における麦類の生育・収量・品質及び根量に及ぼす塩化カリウム追肥及び緩効性カリ肥料の基肥施肥の影響土屋一成^{1)*}・原嘉隆・中野恵子(九州沖縄農業研究センター、¹⁾ 現 東北農業研究センター：連絡先 t2711@affrc.go.jp)

[目的] 東京農工大の黒ボク土で、小麦「あやひかり」の茎立期に硫酸カリウムで 2kg K₂O/10a を追肥すると、50%程度の増収効果が認められ、「菜種梅雨により、土壤中カリウムの溶脱が起こり、小麦が生育後期にカリウム欠乏となり、窒素利用率の低下や減収を招く一因となっている」という仮説が提唱されている。そこで、この結果の広域適用化のために九州北部地域で、小麦及び大麦について茎立期及び穂揃期後にカリウムを追肥し、生育・収量・品質及び根量に及ぼす影響を調べた。

[材料及び方法] 1) 灰色低地土で、小麦「ミナミノカオリ」を 2006/11/16 播種、慣行施肥で、カリウムの追肥は茎立期の 2/13 に K₂O (塩化カリ) で 2kg、4kg/10a 施用した。また、表層腐植質灰色低地土で小麦「チクゴイズミ」、「シロガネコムギ」、「きぬの波」及び「あやひかり」を 2006/11/22 に播種した。慣行施肥で、茎立期の 2/29 に K₂O を 2, 4kg/10a 追肥した。さらに、水稻後作の灰色低地土で 2006/12/5 に大麦「ニシノチカラ」及び「ニシノホシ」を播種した。施肥は慣行とし、カリウムの追肥は 3/2 に 2, 4, 8 kg K₂O /10a 施用した。さらに、3/2 と穂揃期後の 4/6 にそれぞれ 2kg/10a、4/6 のみ 2kg/10a 追肥した区も設けた。2) 灰色低地土で小麦「チクゴイズミ」、「きぬの波」、「シロガネコムギ」、「あやひかり」を 2007/11/28 に播種した。「あやひかり」のみ 4 割増の密播区も設けた。慣行施肥とし、加里の追肥は茎立期の 3/6 に K₂O で 2, 4kg/10a 施用した。さらに、「あやひかり」には緩効性カリ (ク溶性 K₂O 13.8% 含有) を基肥で、K₂O で 2kg、4kg/10a を全層施用した。いずれの年次も麦類の生育・収量・品質を調査し、一部については根量を測定した。

[結果及び考察]

- 1) 2007 年の筑後市における 3-5 月の降水量は 304mm で平年の 64% と少なく菜種梅雨の影響は弱く、2008 年は 455mm と平年の 96% で、菜種梅雨の影響があったと考えられた。
- 2) 2007 年の水稻作後の灰色低地土における小麦「ミナミノカオリ」に対する茎立期の K₂O 2kg/10a の追肥で、低地力圃場では増収の傾向は認められなかったが、稲わらを連用している高地力圃場では、窒素吸収量が増加し、増収の傾向が認められた。さらに、いずれの圃場でも一穂当たりの根重も多い傾向が見られた。また、表層腐植質灰色低地土における小麦に対するカリウムの茎立期追肥では、「チクゴイズミ」の K₂O 2, 4kg/10a 施用で穂数、子実重、子実タンパク質含有率が増加する傾向にあった。また、「シロガネコムギ」では K₂O 4kg/10a 施用で千粒重が多く、増収の傾向にあった。さらに、「きぬの波」でも K₂O 2kg/10a 施用で同様の傾向が見られた。なお、「あやひかり」は播種後の多量の降雨のため、出芽率が低く、加里の追肥効果は判然としなかった。一方、「チクゴイズミ」の一穂当たりの根重はカリ追肥の影響が認められなかった。さらに、水稻作後の灰色低地土での大麦「ニシノチカラ」及び「ニシノホシ」に対するカリウム追肥は、茎立期以降のいずれの追肥時期でも効果が認められなかった。しかしながら、「ニシノチカラ」では茎立期の K₂O 2kg、4kg/10a 追肥、「ニシノホシ」では茎立期の 4kg/10a 追肥及び茎立期と穂揃期後に 2kg/10a ずつの追肥で一穂当たりの根重が多い傾向が見られた。
- 3) 2008 年の水稻作後の灰色低地土における小麦「あやひかり」では茎立期の 2kg、4kg/10a 追肥で増収効果が認められなかったものの、緩効性カリの 2kg、4kg/10a 基肥施用で 6~10% の増収傾向が認められ、窒素吸収量や一穂粒数の増加が一因と考えられた。なお、緩効性カリの基肥 2kg、4kg/10a 施用で、一穂当たりの根乾物重が増加する場合があった。
- 4) 茎立ち期のカリウム追肥により小麦の品種によっては増収する場合があり、窒素吸収量の増加などが一因と考えられたが、根重増加が関与している可能性も推察された。

O-9 ヘアリーベッチのすきこみとアーバスキュラー菌根菌の接種が 秋ウコンの生育に及ぼす影響

山脇賢治^{1*}, 松村篤¹, M. A. ホサイン², 大門弘幸¹

¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科, ²琉球大学農学部

(*E-mail : yamawaki@plant.osaka-fu.ac.jp)

ウコン(*Curcuma longa* L.)は、南アジアを原産とし、根茎を調味料、染料、化粧品として利用するショウガ科の作物であり、近年、健康商品として需要が増加傾向にある。高い乾物生産特性を示すことから、元肥と追肥による窒素の多施用が必要であるが、低投入型生産のためには有機物による窒素源の効果的な補完技術を確立する必要がある。本研究では、被覆作物として利用され始めているヘアリーベッチの緑肥としてのすきこみが秋ウコンの生育と窒素吸収に及ぼす影響を明らかにし、あわせて作物の養分吸収に影響すると言われるアーバスキュラー菌根(AM)菌の接種効果についてポット試験と圃場試験で検討した。

[材料と方法]

いずれの試験においても、緑肥の施用区と無施用区、菌根菌の接種区と非接種区をそれぞれ組み合わせた4処理区を設けた。ヘアリーベッチは2008年11月に本学圃場に播種し、2009年5月のすきこみ直前に刈取った茎葉を緑肥資材とした。AM菌には *Gigaspora margarita* を用いた。

ポット試験 2009年5月12日、赤玉土を充填した1/2000aワグネルポットにヘアリーベッチを生体重で500gをすきこんだ。6月1日、種根茎を植え付け、同時にAM菌を接種した。

圃場試験 2009年5月25日、パーミキュライトを充填した育苗用ポットに種根茎を植え付け、同時にAM菌を接種した。5月26日、本学実験圃場(灰色低地土)に1m²あたりヘアリーベッチを生体重で5kgをすきこみ、6月17日にポット育苗した苗を移植した。

[結果の概要]

ポット試験 4処理区ともに植え付け後30日目には出芽し、その後も旺盛に生長し、10月初旬には緩慢な生長に転じた。草丈、葉数、茎数については、緑肥施用区が無施用区よりも高く推移する傾向がみられた。特に茎数の増加は施用区において2週間程度早く始まった。植え付け後60, 90, 120日目の葉面積と個体あたり乾物重については、施用区が有意に高い値を示した。AM菌接種の有無による生育の差異は、植え付け後60日目の葉面積と60, 90日目の個体あたり乾物重でみられ、接種区が有意に高い値を示した。

圃場試験 処理区間の生育の差異にはポット試験と同様の傾向がみられ、草丈、葉数、茎数については緑肥施用区が無施用区よりやや高く推移した。また、移植後90, 120日目の葉面積と90, 120日目の地上部および根茎の乾物重については施用区が有意に高かった。移植後60日目には、葉面積と地上部および根茎の乾物重においてAM菌接種区が非接種区より有意に高く、初期生育には接種効果が認められることが示された。

なお、本実験ではいずれの試験においても緑肥施用とAM菌接種の交互作用は認められなかった。両試験における各サンプリング時の細根を観察したところ、60, 90日目にはAM菌の樹枝状体が形成され、120日目には胞子の形成がみられた。一方、AM菌非接種区においても感染が確認され、120日目においては接種したAM菌の胞子と大きさが明らかに異なる胞子が観察されたことから、土着の菌根菌や種根茎に付着していた菌根菌が感染した可能性がある。

以上のようにヘアリーベッチ由来の窒素が秋ウコンの元肥窒素の一部を代替できる可能性が示された。今後はそれらの吸収に及ぼすAM菌の接種効果についてより詳細に検討する予定である。

O-10 塩ストレス条件下で栽培したトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌の接種 — 感染率の違いが接種効果に及ぼす影響 —

服部林太郎^{*1)}・阿部淳²⁾・森田茂紀¹⁾

(¹⁾東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場・²⁾東京大学大学院農学生命科学研究科)

(*email: h_rintaro@fm.a.u-tokyo.ac.jp)

植物の共生微生物であるアーバスキュラー菌根菌 (AM 菌) には宿主植物の耐塩性を向上させる働きがあるため、塩類集積地におけるバイオエタノール原料作物の低投入持続的な栽培に利用できる可能性がある。しかし、塩ストレス条件下では AM 菌の菌糸の伸長や代謝活性も抑制されるため、AM 菌の宿主植物の根への感染や接種効果も抑制される可能性があるが、詳細は明らかでない。そこで、本研究ではこれらの点について確認するとともに、AM 菌の接種効果をあげるために、塩ストレス条件下における感染率と接種効果との関係について検討した。

本研究では、バイオエタノール原料作物としてトウモロコシ品種スノーデントわかば (茎葉部の利用を想定) を小型ポット (約 2L) で栽培し、塩ストレス条件下における AM 菌の接種効果を、感染率との関係に着目しながら検討した。赤玉土と川砂を体積比 1:1 で混ぜたものに異なる量の NaCl を加えたものをポットに充填した後、AM 菌としてセラキンコン (*Gigaspora margarita*) を土壌表面から約 5cm の深さに施用した。NaCl とセラキンコンは、それぞれポット当たり 0, 2.5, 5.0, 7.5g および 0, 2, 8g を組合わせて処理区を設定し、反復は 5 とした。播種後 45 日目に植物体を採取して草丈と AM 菌感染率を測定した。その結果、土壌中の塩濃度が高いと、AM 菌の感染率は低かったが、接種効果は高かった。また、AM 菌の接種量が多いと、AM 菌の感染率と接種効果がいずれも高かった。これらの結果から、接種した AM 菌の宿主植物の根への感染を促進すれば、塩ストレス条件下での接種効果が高くなる可能性が示唆された。

そこで、塩ストレス条件下で AM 菌の感染率を上げることが接種効果に及ぼす影響を検討するため、AM 菌の感染を促進することが知られている数種類の化合物を施用して、AM 菌の感染率と接種効果について検討した。実験方法は基本的に上記と同じであるが、NaCl はポット当たり 5.0g とし、セラキンコンはポット当たり 8g 施用した。播種後 7 日目より 5 日に 1 度の頻度で、1mM または 4mM の CaCl_2 、3mM または 30mM のアルギニン、30ppm または 300ppm のヘスペリジン水溶液、あるいは何も含まない水をポット当たり 150ml ずつ与えた。または、5 μM または 50 μM のジャスモン酸を葉面散布した。また、AM 菌を接種しない処理区を対照区として設け、何も含まない同量の水を、同じ頻度で与えた。播種後 40 日目に植物体を採取して草丈と AM 菌感染率を測定した。その結果、30ppm のヘスペリジンを与えた処理区を除いて、与えた化合物の種類や濃度にかかわらず AM 菌の接種効果と感染率が高くなった。

以上より、塩ストレス条件下では AM 菌の植物根への感染は抑制されるものの、接種効果は高いことが確認された。ただし、AM 菌の感染率を高めることで、さらに接種効果も高めることが可能であることが示された。したがって、塩ストレス条件下で AM 菌を利用するには、いかにして感染率を上げるかが一つのポイントとなると考えられる。

本研究は、東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場技術部の秦野茂・神川翔貴の各氏の支援を得た。なお、この研究成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) のセルロース系エタノール革新的生産システム開発事業の結果得られたものである。

O-11 植物のフィチン利用能：水耕および土耕での比較

大西淳志・矢野勝也*

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)

【背景と目的】リンは窒素とならんで植物生産を律速する制限因子となりやすく、農耕地ではリン施肥が不可欠となっている。ところが、リン肥料の原料となるリン鉱石は今世紀中にも枯渇する可能性が懸念されており、実際に肥料価格は高騰しているのが現状である。植物に利用されことなく土壌に蓄積したリンの 20~80%は有機態であり、その大部分はフィチンである。もし、農作物にフィチンを利用させることができれば、リン肥料への依存度を低下させることができるかもしれない。そのような目的から、根から分解酵素を多量分泌する組換え体も作出されてきたが、実際の土壌ではうまく機能できないようである。本研究では、作物のフィチン利用を可能にするための条件を探るために、水耕と土耕条件下で3種の畑作物にフィチンを供与し、その利用能を比較した。

【材料と方法】ラッカセイ (千葉半立)、トウモロコシ (デントコーン)、ダイズ (フクユタカ) を供試した。

1) 水耕栽培：36L コンテナに Hoagland 溶液(1/5 strength)を満たし、リン酸源としてリン酸二水素ナトリウム 1/5mM (+P 区)、フィチン酸 1/30mM (+Phy 区)、無リン区 (-P 区) を設け、それぞれの処理区コンテナにあらかじめ育苗した苗を水耕液に移植した。3日に一度水耕液を交換し、移植後 15 日目、30 日目、45 日目にサンプリングを行った。

2) 土耕栽培：1/10000a ワグナーポットに鹿沼土を詰め、リン酸源としてリン酸二水素ナトリウム(+P 区)あるいはフィチン酸ナトリウム(+Phy 区)をそれぞれ高濃度(Pとして 600mg/pot)、中濃度(Pとして 150mg/pot)、低濃度(Pとして 37.5mg/pot)で与え、リンを加えない処理区(-P 区)も設けた。生育期間中は3日に一度灌水し、播種後 23 日目に K と N の追肥を行った。トウモロコシは播種後 40 日目、ラッカセイとダイズは播種後 60 日目にサンプリングを行った。

【結果と考察】水耕栽培においては、どの植物種も概ね類似した応答を示した。すなわち、-P 区の生育は貧弱であるが、+Phy 区は+P 区に匹敵する旺盛な生育を示した。この結果は、水耕条件においては3植物種ともリン酸源としてフィチンを十分利用可能であることを示している。

一方土耕栽培では、トウモロコシやダイズと比較して、ラッカセイのみが異なる応答を示した。すなわち、トウモロコシとダイズでは、供与濃度の上昇に応じて+P 区の生育量は増加したが、+Phy 区の生育量は供与濃度に依存することなく-P 区と同程度に低かった。この結果は、両植物種が土耕条件でフィチンを利用できないことを示唆する。一方、ラッカセイの生育量は-P 区においても比較的高く、リン酸源や濃度の違いに対する応答が明確ではなかった。おそらくラッカセイは、トウモロコシやダイズが利用できない鹿沼土に含まれたリンを利用した可能性がある。

以上の結果から、供試した植物種のいずれも水に遊離した状態のフィチンを利用するのは容易であることが明らかとなった。しかし、トウモロコシやダイズは土壌を介してフィチンを供与した場合にはほとんど利用できないことがわかり、土壌粒子から土壌溶液にフィチンを遊離させることが障壁なのかもしれない。トウモロコシ・ダイズとは異なる応答を見せたラッカセイについては、さらなる検証が必要と思われる。

本研究は科研費 (20248003) の研究助成を受けたものである。

O-12 高品質米生産のための無効分げつ抑制栽培における登熟形質と根密度

三浦恒子 金和裕 柴田智

秋田県農林水産技術センター農業試験場

(miura-chikako@pref.akita.lg.jp)

【はじめに】

近年の米の産地間競争の激化と米価の下落により、秋田県における目標収量 57kg/a を確保できる高品質米の安定生産技術が生産者から求められている。これまでに中苗・あきたこまちの移植栽培においては主茎と1次分げつ第4~7節は2次分げつと比べて収量および、整粒歩合が高く、精米タンパク質含有率が低い傾向があり、また2次分げつは穂への有効化が低いことを明らかにした(金ら 2005)。また、2次分げつの発生を抑制し、1次分げつ第4~7節を有効穂として確保する栽培方法として、深水栽培(佐藤ら 2004)と育苗箱全量施肥・密植栽培(三浦ら 2009)を開発した。これらの栽培方法における登熟形質と根密度の特徴を検討した。

【耕種概要】試験年次: 2005 年。試験場所・土壌タイプ: 秋田県農林水産技術センター農試圃場(5a×3)・細粒強グライ土。施肥は、慣行施肥として、全層基肥を速効性肥料 0.6kgN/a と減数分裂期追肥 0.2kgN/a を2圃場、育苗箱全量施肥(以下、箱施肥区)を1圃場。箱施肥区は基肥窒素が 0.6kgN/a となるようにチッソ旭肥料社製のシグモイドタイプの被覆尿素肥料(商品名: 苗箱まかせ N400-100)を用いた。慣行施肥を行った圃場の一方で、移植から水稻6葉期までと水稻9.5~10.5葉期の2時期に深水栽培を行った(以下、深水区)。深水栽培の水深: 最上位完全展開葉の葉鞘が3~5cm水没する程度。1回目約7cm、2回目約15cm。その後は慣行管理。もう一方の圃場では慣行水管理を行った(以下、慣行区)。移植日: 5/18(乗用田植機、1株平均4本植)。栽植密度: 箱施肥区 24.2株/m²、深水区と慣行区 21.2株/m²。出穂日 8/5。

【調査項目】次位・節位別分げつ発生、出穂後の葉色と出液速度、根密度、収量、収量構成要素
【結果および考察】

①分げつ発生は慣行区と比べて、箱施肥区では第3、4節1次分げつと2次分げつの発生が少なかった。深水栽培では第3節1次分げつと2次分げつの発生が少なかった。第8節1次分げつの発生が多く、これは深水終了後に発生した。②出穂後の葉色は、出穂日には3試験区ともほぼ同等であったが、出穂31日後では、慣行区に比べて箱施肥区、深水区で高い傾向であった。止め葉から下位葉まで同様の傾向で、無効分げつ抑制栽培では葉色が登熟期間中高く維持された。穂数あたりの出液速度は、出穂4日後では慣行区と比べて、箱施肥区は同等であった。深水区はやや少なかった。出穂31日後でも同様の傾向であった。③穂数は慣行区に比べて、箱施肥区はほぼ同等、深水区は少なかった。根密度は慣行区と比べて箱施肥区、深水区の順で小さい傾向だった。④精玄米重は慣行区が 59.8kg/a、深水区が 59.3kg/a、箱施肥区が 61.7kg/a であり、同等の収量だった。玄米外観品質は慣行区に比べて深水区、箱施肥区で高かった。玄米タンパク質含有率は慣行区と比べて深水区は同等、箱施肥区は低かった。⑤慣行区と比べて深水区、箱施肥区は2次分げつの発生が少なく1次分げつ主体の分げつ発生となった。箱施肥区、深水区では登熟期間中の葉色は高く維持され、箱施肥区では出液速度も大きい傾向となった。箱施肥区は、根密度は小さいが出液速度が高まったことから、根活性が高いことから稲体の活力が維持され、葉色が高く維持されたと考えられた。深水区は葉色の維持と出液速度、根密度の関連は見られなかった。

O-13 異なる根系発達を及ぼすアミノ酸の窒素利用と代謝

二瓶直登^{*1)}・増田さやか²⁾・頼泰樹³⁾・中西友子²⁾¹⁾福島県農業総合センター、²⁾ 東京大学大学院農学生命科学研究科、³⁾秋田県立大学

(*nihei_naoto_01@pref.fukushima.jp)

【背景・目的】

有機態窒素の植物へ与える影響を解明するために、筆者らはこれまで、アミノ酸の植物生育への影響、直接吸収の検討を行ってきた。その結果、アミノ酸の種類によって植物生育への影響は異なり、Gln や Asn では根系が発達し、地上部の生育も無機態窒素より旺盛となるが、Val や Cys では根系発達を阻害することを明らかにした。本発表では、アミノ酸の種類により植物生育へ異なる影響を与える要因や、アミノ酸態窒素と無機態窒素の植物の利用の違いを明らかにするため、代謝や遊離アミノ酸について検討を行った。

【試験方法】

供試作物はイネ (*Oryza sativa* L. 日本晴) を用いた。種子滅菌を行った後、発芽した種子を無窒素の改変木村氏 B 液で 6 日間無菌的に水耕栽培し、7 日目に生育の揃ったイネ幼植物を供試溶液に移植し、人工気象器内にて 24 時間明条件で吸収実験を行った。供試溶液は、窒素成分抜き改変木村氏 B 液 25 ml に、¹⁵N, ¹³C-二重標識安定同位体 Gln および Val (¹⁵N, ¹³C 98 atom%, 昭光通商) と ¹⁵N-安定同位体塩化アンモニウム (¹⁵N 98 atom%, 昭光通商) を、窒素成分で 1000 μM となるように添加した。吸収実験後、地上部と地下部に分離して乾燥させ、試料を 2 ml エッペンチューブに入れ、液体窒素で凍結しながら、ベッセルにて微粉碎した。安定同位体比の測定は、同位体比質量分析装置 (Delta V, Thermo Fisher Scientific K.K.) にて、atom%¹⁵N (¹⁵N/(¹⁴N+¹⁵N))、atom%¹³C (¹³C/(¹²C+¹³C)) を測定した。また、より長期間アミノ酸を吸収させた影響を検討するため、イネを発芽後、窒素濃度 1000 μM の ¹⁵N, ¹³C-安定同位体標識 Gln および Val、¹⁵N-塩化アンモニウムを用いた水耕液で 6 日間無菌的に水耕栽培した。

【結果・考察】

吸収されたアミノ酸の代謝

標識 Gln を吸収した地下部の遊離アミノ酸の質量数増加は、Gln>Glu、Asp>Ser、Ala で、標識 Val では、Val>Leu であった。質量数の増加は、標識アミノ酸由来の ¹⁵N、¹³C がそれぞれ転移したことでおこる。標識 Gln を吸収した地下部では、質量数が 1 または 2 の増加は、Gln のアミノ基転移による窒素の転移が要因と考えられるが、遊離 Gln、Glu の質量数は、窒素数 (Gln2、Glu1) 以上の増加を示しており、アミノ基転移のみでなく、炭素骨格も Glu へ代謝されていることが考えられる。これは、アンモニアと同様 GS-GOGAT 経路に取り込まれ、吸収された Gln は Gln→Glu への合成が進んでいることを示している。Gln はアミノ酸合成の起点であり、Gln を吸収した場合でも容易に代謝されるため、植物は積極的に窒素源として利用して、生育が促進されると推測される。一方、Val は、アミノ酸合成の末端であり、Leu 以外の他のアミノ酸へ代謝することができないため、組織内に蓄積し、生育が阻害されると推察された。

アミノ酸態窒素とアンモニア態窒素の利用の違い

24 時間吸収試験を実施したイネ幼植物の全窒素に占める ¹⁵N の割合 (N atom%) は、Gln が 16.1 % に対して、塩化アンモニウムが 54.0 % であった。発芽から 6 日間吸収試験を実施したイネ幼植物では、塩化アンモニウムが 71.9%、Gln が 61.2% であった。¹⁵N の地上部/地下部比を塩化アンモニウムと Gln を吸収したイネで比較すると、6 日間長期的な吸収試験を行ったイネ幼植物では、塩化アンモニウムの地上部/地下部比が 17.7、Gln では 4.5 で、Gln 由来の窒素は地下部での利用が高かった。また、吸収された全 ¹⁵N のうち、遊離アミノ酸画分に存在する ¹⁵N と、それ以外 (タンパク質や核酸に取り込まれたと想定) の画分に存在する ¹⁵N を計算すると、Gln 由来の窒素はアンモニアイオンと比較して、特に地下部において 90% 近くがタンパク質合成に利用されており、遊離アミノ酸画分に存在する割合は低かった。Gln 態として吸収された窒素は、窒素同化の最初の段階において地上部からの光合成産物を必要とせず、地上部からの同化産物の供給に制限されることなくタンパク質や核酸などに比較的早く変換できることが示唆された。

以上より、根系発達に与えるアミノ酸別の違いは代謝が要因であることを示唆した。Gln はアミノ酸合成の起点で、地下部で吸収した Gln は、地上部からの同化産物を用いず速やかに他のアミノ酸やタンパク質合成へ使用することが可能で根系発達に効率よく利用することが、無機態窒素と異なる点と考えられた。

O-14 トマトの摘果に伴う茎からの不定根発生の品種差異と同化産物との関連中野明正^{*1}・松田怜¹・淨閑正史²・鈴木克己¹・安東赫¹・高市益行¹¹野菜茶業研究所・²電力中央研究所

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

【はじめに】

オランダ品種は日本品種に比べて高収量性である。この生理的メカニズムを解明して日本品種の多収性に結びつける技術開発が求められている。本研究では、摘葉や摘果により地上部のシンクソースバランスを変化させたときにオランダ品種に顕著に認められた不定根について同化物との関連からその発生メカニズムを推定した。

【材料と方法】

1) 栽培方法: トマト (*Solanum lycopersicum* L.) について、日本品種‘桃太郎ヨーク’, オランダ品種‘DUNDEE’を比較した。人工光・閉鎖型苗生産装置内で4週間育苗した後、高軒高フッ素系フィルム温室(床面積 216m²)内のロックウールスラブに1スラブあたり5株ずつ移植した。培養液管理は中野ら(2006)の処方でEC1.2dS/mとし濃度管理で掛け流し栽培とした。摘葉・摘果処理区は各品種において、果房あたり4果で摘葉しない対照区(Ctrl区)、果房あたり4果で本葉の33%を摘葉する区(-33L区)、果房あたり4果で本葉の67%を摘葉する区(-67L区)、果房あたり2果で摘葉しない区(-50F区)、果房あたり0果で摘葉しない区(-100F区)の5処理区とした。

2) 乾物分配の評価: 定植後約3ヶ月後の2009年8月12日に、地上部は、果実、葉、茎に分けて新鮮重を測定した。一部茎から不定根や不定芽(側枝)が発生したのでそれらについて分けて採取し測定した。根については燃焼法によりそれぞれの乾物重を推定した。

3) 出液速度: トマトの茎を地際から5cmの部分で切断し、浸出する導管液量を測定した。

4) 茎横断面のデンプン染色と含有率の測定: 茎を厚さ約3mmの輪切りにし、切断面にヨウ素溶液(0.05mol/L)を滴下し染色した。染色断面をカラー画像として取り込み、Scion Imageにより染色面積を定量した。髓とそれ以外の部分(不定根が発生している場合は不定根を別にした)を分けて切り出し、凍結乾燥試料を調製しデンプン含有率を測定した。

【結果と考察】

出液速度は摘葉により低下したが、摘果による影響は小さかった。トマトの茎から発生した不定根は摘果をした‘DUNDEE’で顕著にみとめられ、側枝は摘果をした‘桃太郎ヨーク’で顕著に認められた。この結果は過剰の同化産物の転流先として、品種により異なる戦略を採っていることを示している。茎をヨウ素デンプン反応で染色したところ-100F区においては両品種の髓の部分が濃く染色された。-50F区では‘DUNDEE’があまり染色されないのに対して、‘桃太郎ヨーク’では濃く染色され品種間差異が認められた。これは定量結果とも一致していた。茎の乾物率はCtrl区と-100F区を比較した場合、‘DUNDEE’が‘桃太郎ヨーク’に比べ顕著に増加した。デンプン以外の炭素化合物またはタンパク質等の窒素化合物が集積して乾物率を上昇させた可能性が考えられ、茎からの発根との関連性については今後検討する必要がある。

O-15 トマトにおける高温ストレス下での炭素収支多収性オランダ品種と日本品種の比較

権藤浩司¹・荒木英樹¹・辻 渉²・加勢田乙志²・中野明正³ (¹ 山口大学農学部・² 鳥取大学乾燥地研究センター・³ 野菜茶業研究所) (連絡先 荒木: ahide@yamaguchi-u.ac.jp)

トマトの高温障害が起きる理由のひとつは、果実への炭素分配量が減少するためであると考えられている。夏季高温条件下では、夜温が高いため呼吸速度が上昇し、同化産物の消耗を助長するといわれている。また、高昼温下で光合成速度が低下することも分配可能な炭水化物量を減らす一因となる。すなわち、高温条件下でのトマトの生産力を考えるためには、1) 光合成で固定された炭素量と 2) 呼吸で消費される炭素量、および 3) その差し引きによって決まる貯留炭素量を、理想的には群落に近い状態で観察する必要がある。本研究では日本品種と日本品種に比べ多収性を示すオランダ品種の成熟個体群を用いて、高温および適温条件下で炭素収支を観測した。また、新規同化産物のシンクとなる根系の呼吸についても併せて評価した。

材料と方法

トマトのオランダ品種 (Matrix) と日本品種 (ハウス桃太郎) を 2009 年 6 月 1 日に播種した。7 月 1 日に立方体のロックウール培地 (1 辺 0.15 m) に定植して、山口大学農学部ビニルハウス内で栽培した。生育期間中は点滴チューブを使って養液 (大塚ハウス A 処方 1/2 濃度) をかけ流した。9 月 17 日 (Matrix で第 10 花房開花期) に、2 つの人工気象室 (鳥取大学乾燥地研究センター) に各品種それぞれ 4 個体ずつ移動した。いずれの気象室も光合成有効放射を約 $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (地上 1m) に設定し、9 月 18 日から 2 日間は昼温と夜温を 35°C と 25°C (高温条件)、同じく 9 月 20 日から 25°C と 20°C (適温条件) とした。昼間は室内の CO_2 濃度が一定になるように CO_2 供給速度を調節し、その供給量から炭素同化速度を算出した。夜間には、調温した大気ガスを室内に通気して、排気ガス中の CO_2 濃度から個体全体の呼吸速度を算出した。上記の実験とは別に 60 日齢の植物体を用いて、山口大学農学部ビニルハウス内で根の呼吸速度を測定した。

結果と考察

Matrix とハウス桃太郎の炭素収支における主な違いは、次の通りであった。

- 1) 貯留量の違い: 個体あたりの平均 (みかけの) 同化速度と夜間呼吸速度は、Matrix では高温条件下でそれぞれ 9.9 と $1.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ plant}^{-1} \text{s}^{-1}$ 、適温条件下で 11.1 と $1.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ plant}^{-1} \text{s}^{-1}$ 、高温条件下のハウス桃太郎で 8.0 と $0.87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ plant}^{-1} \text{s}^{-1}$ 、適温条件下で 8.6 と $0.74 \mu\text{mol CO}_2 \text{ plant}^{-1} \text{s}^{-1}$ であった。その差し引きから概算した 1 日あたりの貯留炭素量は、品種に関わらず高温条件下で減少した。しかし、Matrix は、1 日あたりの炭素貯留量がハウス桃太郎よりも多く、新規同化産物が実や栄養器官に多く分配できると予想できる。
- 2) 同化速度の違い: 単位葉面積あたりの同化速度はハウス桃太郎のほうが高いものの、Matrix では個体あたりの炭素同化速度が高かった。その要因は、Matrix が大きな葉面積を形成すること、全乾物重に対する葉面積の割合 (LAR) が大きく、個体あたりの受光量や乾物あたりの同化速度 (RGR) を高めるために有利な草姿であることなどが考えられた。
- 3) 呼吸速度の違い: 高温条件下では呼吸速度が高く、貯留炭素量が低下する一因になっていた。しかし、個体全体や根系の呼吸速度を比較しても、いずれの温度条件下でも乾物あたりの夜間呼吸速度には品種間で大きな差がなく、呼吸による炭水化物の消耗がハウス桃太郎で大きいとはいえなかった。

P-1 ジャスモン酸生合成阻害剤の稲根成長に及ぼす影響

○王敬銘, 吉澤結子, 豊福恭子, 小川敦史 (秋田県立大学・生物資源科学部)

(連絡先: jmwang@akita-pu.ac.jp)

ジャスモン酸(jasmonic acid)及びジャスモン酸メチルは、植物界に広く存在し、根の成長抑制や花粉の成熟などを誘導する様々な生理活性を示す植物ホルモンである。また、傷害などのストレスに対応して合成され、環境ストレス応答遺伝子の発現を誘導することから、環境ストレスへの耐性誘導ホルモンとしても知られている。ジャスモン酸の生物機能を解明する研究においては、ジャスモン酸生合成遺伝子突然変異体解析により、数多くの知見が得られている。また、植物ホルモン生合成阻害剤を利用した研究が、現在注目されている。即ち、生合成阻害剤と遺伝子突然変異体解析研究を組み合わせることにより、数多く新しい知見が得られている。本研究では、ジャスモン酸生合成のカギとなる酵素アレンオキシド合成酵素 (AOS) を特異的に阻害する合成生理活性物質の活性、ならびにこのシリーズの化合物のイネ根生長に及ぼす影響について報告する。

【材料及び方法】

AOS 阻害剤を合成するために、市販されている 1-(1*H*-imidazole-1-yl)-2-(2,4-dichlorophenyl)ethanol を出発原料とし、ハロゲン化合物と反応させることにより、幾つかの阻害剤候補を合成した。AOS 阻害剤の活性を評価するために、活性型であるシロイヌナズナ由来の AOS 組み換え型酵素を大腸菌発現系によって調製し、阻害剤の活性検定に供した。化合物のイネ根生長に及ぼす影響について検討するために、阻害剤を添加した MS 寒天培地を用いて、イネの種子を発芽させ、イネ根の生長を観察した。

【結果及び考察】

11 種類の AOS 阻害剤候補を合成した。AOS 阻害活性検討の結果、本研究で合成した化合物は、いずれも強い AOS 阻害活性を示すことが明らかとなった。直鎖アルキル基やアルケニル基および ω アルキルカルボン酸エステル基を導入した化合物の AOS 阻害活性を比較したところ、二重結合を含む化合物は二重結合を含まない化合物より弱い AOS 阻害活性を示した。また、側鎖の長い化合物は短い化合物より強い阻害活性を示した。 ω アルキルカルボン酸メチルエステル誘導体の AOS 阻害活性は同じ炭素数を有するアルキル基誘導体と同程度の AOS 阻害活性を示すが、メチル部分の炭素数を増加することにより、AOS 阻害活性を増加する傾向にあることが判明した。化合物 11 は合成した化合物の中で最も強い AOS 阻害活性を示した。その IC_{50} は、約 10 nM であることが明らかになった。AOS 阻害剤の阻害様式を解析するために、様々な基質濃度と阻害剤濃度存在下で、一定量の AOS に対して、酵素反応における AOS 基質の変化を経時的に測定し、初期段階の反応速度をミカエリス・メンテン式にフィットさせることにより阻害機構を解析することにした。三つの阻害モデル、すなわち拮抗型阻害、混合型阻害および非拮抗型阻害について検討した結果、化合物 11 は AOS の拮抗型阻害剤であることを明らかにした。

この系統の化合物の稲根成長に及ぼす影響を検討した結果、化合物 11 はイネの根生長を促進することが明らかとなった。現在、AOS 阻害剤の化学修飾と新規阻害剤の開発に取り組んでいる。構造活性相関解析研究を進めることにより、無傷植物のジャスモン酸生合成を強く阻害する薬剤の発見に繋がることを期待している。また、ジャスモン酸生合成阻害剤を利用することにより、ジャスモン酸のシグナル伝達系に関わる新しい知見を得ることを目指している。

P-2 ヤブツバキ~オオバヤシャブシ混植林における窒素固定と養分動態

堀内達也・巽 二郎

京都工芸繊維大学 生物資源フィールド科学教育研究センター

(連絡先 tatsumi@kit.ac.jp)

日本産ヤブツバキ(*Camellia japonica*)の種子から採取されるつばき油は優れた特性を持っており、近年その需要は増加している。伊豆諸島の利島では、島の面積(約4km²)の半分以上でヤブツバキが栽培され、日本におけるつばき油の最大の産地をなしている。利島は窒素・リンの欠乏しやすい火山灰土壌に覆われているが、長年にわたり無施肥でつばき油の生産が行われてきた。ここでは、ヤブツバキの幼木を定植する際に窒素固定能を有するハンノキ属のオオバヤシャブシ(*Alnus sieboldiana*)が混植される例が認められる。この栽培法は利島において古くから行われており、土壌肥沃度の向上をめざした持続的農法であると考えられる。本研究では、このヤブツバキ・オオバヤシャブシ混植林におけるそれぞれの栄養状態を調べることにより、ヤブツバキの生育にオオバヤシャブシの混植がどのような影響を与えているのかを調査した。またさらに、窒素安定同位体自然存在比($\delta^{15}\text{N}$)を指標として用い、この動態からも混植の効果を検討した。

【材料と方法】

利島のヤブツバキ栽培林において、対照区、混植区a、混植区bの3つの調査区を設けた。対照区はヤブツバキのみの植栽地、混植区aはオオバヤシャブシの個体数がヤブツバキとの合計個体数の約20%をしめる区、混植区bは同じく約50%をしめる区である。調査は2008年7月と9月に行った。各調査区においてランダムに各々3個体ずつのヤブツバキとオオバヤシャブシを選出し、葉のサンプリングを行った。同時に、各区から3点ずつ土壌サンプルを採取した。すべてのサンプルはトルオーグ法によりP含有率を、ケルダール法によりN含有率を求めた。また、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の測定を行った。土壌サンプルはさらに、土壌の化学的性質や可給態リン酸含有率を測定した。

【結果と考察】

混植区の土壌は対照区よりもpHが低く、わずかではあるが全N含有率が増加する傾向が見られた。しかし、土壌の可給態リン酸含有率は対照区よりも混植区の方が低い値を示した。ヤブツバキ葉の全P含有率及び全N含有率はどの区間でも有意な差は認められなかった。オオバヤシャブシ葉では混植区aと混植区bで有意な差はなかった。ヤブツバキの $\delta^{15}\text{N}$ 値は対照区よりも混植区の方が高い値で、混植区のほうが大気中の $\delta^{15}\text{N}$ 値(=0)に近い値であった。またオオバヤシャブシの割合が高い混植区bの方がより大気中の $\delta^{15}\text{N}$ 値に近い値を示した。一方、土壌全窒素の $\delta^{15}\text{N}$ はどれも正の値を示しており、大きな差はなかった。

葉中の $\delta^{15}\text{N}$ 値の結果から、混植区のヤブツバキがオオバヤシャブシの固定した窒素を利用している可能性が示唆された。また、混植により土壌中の窒素含有量やpHが変化し、ヤブツバキの生育に影響を与えている可能性が示唆された。しかし土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値に差異が見られなかったのは、今回測定を行ったのが土壌全窒素であり可溶性窒素のみを測定したものではないためであると考えられる。一方、土壌の可給態リン酸含有率は混植区よりも対照区のほうが高い値を示しており、ヤブツバキ根におけるリン可溶化能力の存在が示唆された。混植による持続的な油料ヤブツバキの生産生態についてNとPの動態を通じてさらに解析を進める予定である。

P-3 カルシウムによる NaCl ストレス条件下のナシ台木種の根の伸長阻害の軽減

*松本和浩¹・辻 渉²・田村文男³¹ 弘前大学農学生命科学部生物共生教育研究センター藤崎農場² 鳥取大学乾燥地研究センター ³ 鳥取大学農学部

(*連絡先: k-matsu@cc.hirosaki-u.ac.jp)

高濃度の Na を含む培地中など、塩ストレス条件下では植物の根の生長は抑制される。しかし、多くの植物種において培地へカルシウムを添加することにより影響が緩和されることが報告されている。このカルシウムによる Na ストレスの軽減機構については、添加したカルシウムが細胞膜に結合したカルシウムを保護する事、細胞内の K の流出を防止する事などが示唆されているが、詳細は不明である。そこで本研究では、ナシ台木種の幼植物を用い、カルシウムによる NaCl 障害の軽減効果および Na の体内への流入機構について調査した。

【材料および方法】鳥取大学農学部に植栽保存されている *Pyrus pyrifolia* より種子を採取した。発芽種子を NaCl, KCl, Na₂SO₄, MgCl₂ またはマンニトール溶液中で水耕栽培し、CaCl₂, KCl, MgCl₂ の添加が根の伸長に与える影響を調査するとともに根中のイオン含量を測定した。

【結果および考察】

根の伸長が停止し、枯死する NaCl 溶液と同じ浸透ポテンシャルを持つマンニトール溶液では根の伸長阻害は起こらないことから NaCl による根の伸長阻害は浸透圧ストレスではなくイオンストレスによって発生しているものと考えられた。NaCl 溶液に CaCl₂ を添加すると根の伸長阻害は軽減され、体内へ Na の流入および K の体外への流出が抑制された (第 1 図)。

Na₂SO₄ 溶液に CaCl₂ を添加すると NaCl と同様に根の伸長阻害は軽減され、体内へ Na の流入および K の体外への流出が抑制されたことから、伸長阻害は Cl ではなく主として Na により発生し、Ca は Na に作用して障害を緩和していると考えられた。また、KCl 溶液でも NaCl と同様に CaCl₂ 添加により伸長阻害は軽減されたことから Ca は Na に特異的に作用するのではなく K にも作用し障害を軽減することが明らかとなった。

NaCl 溶液に KCl を添加しても CaCl₂ 添加時にみられた障害の緩和は確認されなかったことから、Na と K の競合では伸長阻害を緩和できないことが明らかとなった。さらに、MgCl₂ を用いて同様の実験を行った結果、Mg も NaCl による根の伸長阻害を一部緩和することが明らかとなった。

以上のことから NaCl ストレス下における根の伸長阻害は主として Na の害により細胞膜の選択的透過性が破壊され根から K が流出し、Na が侵入することによって起こることが示唆された。また、Ca はこの選択的透過性の維持に働き、根が受ける NaCl ストレスを軽減する可能性が示された。

【謝辞】本研究の一部は財団法人ソルト・サイエンス研究財団 (助成番号 09B2) および鳥取大学乾燥地研究センター共同研究 (自由研究) の助成に基づき実施した。ここに記して感謝申し上げる。

100 mM NaCl



第 1 図 培養液中 CaCl₂ 濃度の違いが 100 mM NaCl 処理区のナシ台木種の根の伸長に与える影響 (処理 4 日後) 左より CaCl₂ 無添加, 0.1 mM, 0.5 mM, 5.0 mM 添加区。右端はマンニトール 200 mM 単独処理区。

P-4 湛水条件での根表面近傍の酸素濃度と根組織構造との関係

高橋三男^{1*}・仁木輝緒² (¹東京高専・物質工, ²拓殖大・工)

(taka@tokyo-ct.ac.jp)

湛水条件下で、根の微小部位（根表面および組織内）の酸素濃度を知ることは、根が酸素濃度ストレスをどの様に受け取っているかの観点で興味深いことである。酸素濃度の変化は、それらの部位での根の酸素の収支量を反映しているもので、湛水下における根の呼吸活性、酸素供給と関連している。演者らは第27回（福島）、28回（山口）、30回（足寄）の本集会で、マイクロセンサーを用いることによって、根の微小部位での酸素濃度の計測を報告してきた。

ベニバナインゲン（*Phaseolus* sp.）を湛水処理すると、24時間後の観察では根の先端が膨潤し、その部位に限局して中心柱柔細胞群の崩壊が起こり、空隙（Cavity）が形成される。しかし空隙は先端部に限局しているので、この空隙を通気組織として考えるに機能としての疑義が残る。本報告では、先に報告した根表面近傍における酸素濃度とそれに対応させて根組織構造の対応関係を調べたので報告する。

2,000 ml 容量のトールビーカを栽培容器とし、ビーカの内側に濾紙を巻きその内側にパーミキュライトを入れ、750 ml の蒸留水を加え、上部をアルミホイルで覆った。オートクレープで滅菌後、ベニバナインゲン（*Phaseolus* sp.）をビーカと濾紙の間に播種し、20℃で連続暗黒で発芽・生育させた。播種5～6日目、種子直下まで蒸留水(DW)を入れ、種子根（長さ約5cm）の湛水処理とした。酸素濃度の測定は、前報告と同様なマイクロ・センサーを用いた。湛水処理24時間後、根先端、先端0（Top）から1、2（Middle）及び4（Basal）cm 部位、そして膨潤部位（先端から0.5cm）の酸素濃度を計測した。ブランク値測定は、根から5cm以上離れた点とした。形態観察は未処理および処理後に根の各部位からの徒手切片に試料を得て行った。

Root position	Root Surface Oxygen concentration (mg/L)	Control Oxygen concentration (mg/L)
After flooding for 24hours		
3cm (from root Tip)	2.51	7.55±0.5
2cm	2.19	
1cm	1.5	
0.5cm (swelling)	1.79	
Tip	1.16	

ベニバナインゲンの根は湛水処理をしても死なない。湛水処理のこの間の成長量は未処理成長量の1/4、約1cmであった。根の膨潤は先端から0.5cm 部位に見られた。湛水下における根表面近傍の酸素濃度は、処理短時間では先端に近づくにつれて酸素濃度の減少を示した。しかし、処理24時間後計測でも同様の傾向を示すが、先端部膨潤部位では、逆に有意義に高い値を示した。ブランク値はビーカ内の位置に関わらず、一定で、これはDWの溶存酸素濃度量とほぼ同じであった。

膨潤部位には空隙（Cavity）が観察されたが、その上部（先端から2～5cm）では、皮層柔細胞の間隙（Intercellular space）が大きくなる傾向にあり、一部皮層柔細胞の崩壊が観察された。これら形態変化と根表面近傍の酸素濃度変化との関わりを考察したい。

P-5 畑条件下における NERICA の窒素吸収と出液速度の関係松波麻耶¹・松波寿典²・国分牧衛¹¹ 東北大学大学院農学研究科, ² 秋田県農林水産技術センター農業試験場

(E-mail: kokubun@bios.tohoku.ac.jp)

【背景と目的】地球温暖化や産業・生活用水との競合から、世界的規模で農業用水の確保に懸念が高まる中、稲作においても水の節減下での安定的多収の達成が大きな課題の一つとなっている。NERICA (New Rice for Africa) は、*O. sativa* の収量性と *O. glaberrima* のストレス耐性を兼ね備えたイネ品種の作出を目的として育成された種間交雑品種・系統であり、アフリカでは灌漑水や農薬、化学肥料などの低投入条件で従来の品種よりも高い収量が期待されている。我々が2カ年にわたり、湛水条件と天水畑条件で NERICA と我が国の水陸稲品種の生育および収量を比較調査した結果、NERICA は畑条件で我が国のイネ品種よりも優れた物質生産性や窒素吸収を示すことが明らかとなった (Matsunami et al. 2009)。このような高い N 吸収は根系による高い養分吸収能によってもたらされることが推測される。そこで本研究では、根系の養水分吸収能に関係すると考えられる出液速度に注目し、NERICA の優れた N 吸収能の要因を明らかにしようとした。

【材料と方法】2007 年に東北大学農学研究科圃場においてトヨハタモチ、ゆめのはたち、ひとめぼれ、NERICA1、NERICA5 の計 5 品種を畑栽培した。分割区法を用い、多肥 (7gN/m²) と少肥 (2gN/m²) の 2 レベルの N 施肥区を設けた。各品種出穂期、成熟期に生育中庸な 5 株の地上部をサンプリングし、80℃で3日間風乾後、乾物重(DW)を測定した。その後粉碎し、NC アナライザーで窒素含有率を測定し、地上部 N 含有量を算出した。出穂期、出穂 2 週間後、同 4 週間後に各処理区から平均的な生育を示す 5 株について株当たりの出液速度を測定した。地際から 5cm のところで株を刈り取り、あらかじめ重量を計っておいた脱脂綿で切断面を覆った。さらに蒸発を防ぐためにアルミ箔で密閉した。1 時間後に脱脂綿を回収し、直ちに重量を測定し、増加量を出液量、すなわち出液速度とした。

【結果と考察】出穂期における NERICA の DW は、多肥区では日本の陸稲品種と同程度であったが、少肥区ではそれらより優れる傾向がみられた。成熟期の NERICA の DW は日本の 3 品種に比べ優れており、特に少肥区では有意に大きかった。出穂期の NERICA の N 含有量は、多肥区では日本の陸稲品種と同程度であったが、少肥区ではそれらより優れる傾向がみられた。成熟期の NERICA の N 含有量は処理区にかかわらず日本の 3 品種よりも優れており、特にその差は少肥区で著しかった。これらのことから、NERICA と日本の 3 品種との乾物生産能と窒素吸収能の差は、登熟期に顕著となることが明らかとなった。また、登熟期の N 増加量と乾物増加量には有意な正の相関関係が認められたことから、NERICA では登熟期の高い N 吸収能が乾物増加に寄与することが示唆された。登熟期の出液速度は、処理区に関わらず、NERICA で高く推移していた。登熟期の平均出液速度と N 増加量には有意な正の相関関係があったことから、NERICA の登熟期における高い窒素吸収能は、根の生理活性が高く維持されていたことに関係していることが示唆された。今後さらに NERICA の高い N 吸収能を解明するためには、根の形態的特性や生理機能の詳細な解析が重要である。

【引用文献】 Matsunami et al. 2009. Plant Prod. Sci. 12: 381-389.

P-6 アズキの初期生育に及ぼす菌根菌 *Glomus aggregatum* の影響

ー 接種による耐湿性向上の可能性 ー

小森二葉^{1*}・松村篤¹・大橋善之²・大門弘幸¹¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科, ²京都府農林水産技術センター丹後農業研究所

(*E-mail: futaba@plant.osakafu-u.ac.jp)

アーバスキュラー菌根 (AM) 菌は、陸上植物の約 80%に感染する糸状菌の一種であり、土壌中に菌糸を張り巡らせてリンなどの土壤養分を植物に供給することは周知の通りである。また、水分過不足や過剰塩類などの様々なストレスに対する耐性を付与する可能性も示されている。著者らは、過剰水分条件下におけるアズキの不定根形成について本研究会で報告したが (第 30 回集会)、本研究では、生育期間を通じて様々な湿害を受ける水田転換畑で栽培したアズキにおける AM 菌接種による生育促進と耐湿性向上の可能性について明らかにするため、特に生育初期の生長と窒素固定活性に着目して接種効果を検討した。

供試品種には‘京都大納言’、‘能登大納言’、‘エリモショウズ’を用い、以下のポット実験を行った。深型ビニールポットに、実験 1 では本学附属教育研究フィールドの水田土壌 (灰色低地土) を、実験 2 では赤玉土と園芸培土を 4:1 で混合したものをそれぞれ充填し、半数のポットに菌根菌 *Glomus aggregatum* を接種した。ポットを入れた大型コンテナを、実験 1 では 18 時間日長、昼夜 25℃に制御した人工気象室内に、実験 2 ではガラス室内にそれぞれ設置した。いずれの実験においても、播種後 10 日間を畑条件で生育させ、11 日目にポットを 2 群に分けて、一方 (畑区) には適宜灌水を行い、もう一方 (湛水区) には土壌表面と水面が同じ高さになるようにコンテナに水を入れ、湛水处理を行った。7 日間の湛水处理後にコンテナ内の水を排出し、全個体を畑条件で栽培した。実験 1 では、湛水处理終了後 8 日目に、実験 2 では 17 日目に両処理区からそれぞれ 5 個体を採取し、地上部と地下部の乾物重、菌根菌感染率を測定した。また、実験 2 では、アセチレン還元活性および相対ウレイド値の分析により窒素固定について調査した。

実験 1 では非接種・接種の両区で、実験 2 では接種区のみで菌根菌の感染が確認された (図 1)。地上部と地下部の乾物重については、実験 1 では接種の有無による明確な差異は認められなかったが、実験 2 では畑区においては菌根菌接種区で明らかに高く (図 2)、湛水区においては低い傾向を示した。また、実験 2 において、相対ウレイド値からいずれの個体も窒素固定に依存する割合が高いことが示されたが、アセチレン還元活性は畑・湛水両区において接種区で明らかに高かった。以上のように、水田土壌では菌根菌の接種効果は明確ではなかったが、赤玉土では、畑区における明らかな生育促進効果と湛水区における窒素固定活性の向上によるその後の生育回復の可能性が示唆された。今後は、異なる土壌における接種効果の差異について、土壌肥沃度と湛水 (還元) および畑 (酸化) 条件における養分の無機化、排水性、土着土壌微生物相の差異などの観点から検討するとともに、特に実際にアズキが栽培される転換畑土壌で栽培した場合の窒素固定への接種の影響について詳しく調査したいと考えている。



図 1 AM 菌感染の様子



図 2 畑区における AM 菌非接種区 (左) と AM 菌接種区 (右)

P-7 アミノ酸施用がトウモロコシの窒素吸収に及ぼす影響と菌根菌接種効果 — 梅干調味廃液を用いた酵母培養によるアミノ酸液肥利用の可能性 —

谷口真司¹・松村篤¹・山脇賢治¹・高田智史^{2,3}・片山清範³・田中康弘³・

中西久夫³・山本康雄³・平知明²・矢野勝也⁴・大門弘幸^{*1}

¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科, ²紀州高田果園,

³NPO 法人南高梅の会, ⁴名古屋大学大学院生命農学研究科

(*E-mail: daimon06@plant.osakafu-u.ac.jp)

和歌山県みなべ町は南高梅の産地として有名であり, 中小あわせて 80 社近くの梅干加工場がある. 全梅干製品の 95% は調味梅干であるが, 副産物として生じる調味廃液 (以下廃液) の海洋投棄が 2006 年に禁止され, その処理に多大なコストがかかり経営を圧迫している. そこで, 廃液の有効な利活用の一環として, 廃液が含有する栄養素や炭素源を利用して酵母を培養し, その分解物からアミノ酸液肥を生産して, ウメおよび地域特産野菜類の循環型農業に応用することを目的とした. 本報告では, 1) 廃液による酵母の増殖と自己消化によるアミノ酸の生産, 2) トウモロコシの窒素吸収におけるアミノ酸施用の影響とアーバスキュラー菌根 (AM) 菌の接種効果について, 基礎的な知見を得たので報告する.

・廃液を培地とした酵母の培養と自己消化液のアミノ酸含量

酵母菌には IF02347 系統を供試した. 脱塩過程を省くために, 廃液には食塩を含有しない調味梅干 (商品 Z) 用の調味液を用いた. 予め YM 培地で培養した酵母を, 窒素源として硫酸アンモニウムを補完した 8 倍希釈の廃液で振とう培養したところ, 初期の増殖が YM 培地に比べてやや遅れたものの 96 時間後には YM 培地とほぼ同様の OD 値を示した. 培養物を遠心して洗浄後, トルエンを滴下して 24 時間静置した後の上清液には, 200mgN/L 程度の総アミノ酸量が検出された. 滅菌水中で自己消化させた場合には消化に時間を要し, 72 時間以降のアミノ酸濃度は 1/3 程度と低かった. 現在, 調製したアミノ酸液のバイオアッセイを試みているところである.

・トウモロコシの生育に及ぼすアミノ酸施用の影響と AM 菌接種の効果

2009 年 5 月 26 日, 赤玉土と園芸培土を混合 (20:1) して充填した 1/5000a ワグナーポットにトウモロコシ (品種: ゴールドデント KD850) を播種した. 供試アミノ酸として, 酵母自己消化液に多く含まれるグルタミン酸, アラニン, プロリンを用いた. 対照区として蒸留水のみを施用する区を設けた. 各アミノ酸施用液の N 濃度は 400mg/L とし, 播種日から 6 日毎に 100ml/ポットを計 7 回施用した. 播種時に半数のポットには AM 菌として *Gigaspora margarita* を接種した. 栽培はビニールハウス内で行い, 播種後 41 日目にサンプリングした. 個体あたり乾物重および SPAD 値は, いずれのアミノ酸施用区においても AM 菌接種区で非接種区に比べて著しく高い値を示した. サンプリング時に採取したトウモロコシ道管液中の総アミノ酸含有率は, 接種区, 非接種区のいずれにおいても対照区に比べて各アミノ酸施用区で高い値を示した.

開発を試みているアミノ酸液肥は, ウメおよび周辺地域の葉菜類の生産における有機質肥料としての利用やウメ剪定枝を堆肥化する際の窒素源として利用する予定である. 現在, 近隣の新規造成農地における有機農業や特別栽培にこれらの液肥を効果的に利用すべく現地試験を試みているところである.

P-8 ルートモデルからみたテンサイ根系の形成過程について

吉田 渡・伊藤博武*・小松輝行・吉田穂積

東京農業大学生物産業学部

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

テンサイは北海道の畑作農業における輪作体系の中核をなす基幹作物である。北海道網走市における土壌タイプの違いによる地区間での生産性格差については、農業関係者の間で解決すべき重要課題の一つとされている(小松ら, 2000)。テンサイの根系は土壌タイプに起因する土壌物理性の影響を受け、深い根系となる土壌タイプでは高温により蒸散量が多くなっても深い層から吸水することで葉が萎れずに光合成の日中低下を防ぐため、生産性が高くなる(林ら, 2005)。また、伊藤ら(2008)は北海道内のテンサイ栽培品種・系統の根系分布を調査し、深い根張りとなる品種ほど萎れずに高温乾燥条件に耐えていることを報告している。先の報告では土壌深度ごとの根長密度および根の深さ指数(小柳 1998)から深根型品種と浅根型品種の存在を明らかにしている。しかし、根系の骨格となる太い根や養水分の吸収を担う細い根といった根径の観点からは、生育にしたがって変化する空間的な配置を示すまでにいたっていない。より高く安定した生産性をもつ品種の育成に向けて、根の生長過程を根径と根長から分析することで得られる新たな根系の生育パターンの知見への期待は大きい。そこで、本研究では、テンサイにおける根系の構造と形成過程をよりの確に捉える方法として、パイプモデル理論を応用したルートモデル(田中ら, 1994; 有馬ら, 1996)に基づき、生育にしたがった根系構造の変化と根系発達について検討し、併せて地上部生育や貯蔵根との関連性について検討した。ルートモデルでは根径ごとの根量を把握することはできても、根の空間的分布を把握することができない。これまでの研究により、根の深さがテンサイの生産性に影響を及ぼすことが明らかであることから、根の空間的分布についても併せて検討する。

【材料および方法】

2008年に東京農業大学寒冷地農場(北海道網走市)内の圃場を用いて供試材料を栽培した。本農場の土壌タイプは淡色黒ボク土である。また、本研究には、当地の主要な栽培品種である、ホクレン農業協同組合連合会の「アセンド」(3倍体)を選び用いた。生育調査として、移植後4週目から約2週間毎に圃場にて草丈(cm)を測定し、その後、地上部乾物重(kg m^{-2})および地下部乾物重(kg m^{-2})を測定した。また、生育調査に併せて移植後12週目からは糖度の指標となるBx値を測定した。根の採取はテンサイ苗を圃場へ移植し、移植後6週目、10週目、16週目、19週目はオーガーによって、23週目にはコアによって土壌ごと採取した。採取後、室内にて凍結保存した土壌から根を洗い出し、ルートスキャナ(Regent Win-RHIZO)を用いて根長および根径を測定した。ルートモデルは直径階級幅を0.05mmとして作成した。また、根長密度(cm cm^{-3})は作土と心土の境界を土壌深度40cmとして、それぞれの層の平均値を算出した。

【結果および考察】

ルートモデルと根長密度から、テンサイの根系発達には3つの段階があることが明らかとなった。移植後10週目までの第1段階では、作土層と心土層のどちらにおいても全ての太さの根が発達していた。次に、移植後10週目から19週目までの第2段階では作土層のみで根が発達しており、第1段階と同様に全ての太さの根が発達していた。そして、移植後19週目から23週目にかけての第3段階では層位に関係なく生育期間を通じて最も旺盛な根の成長が認められ、特に直径階級0.3mm付近の細根が発達していた。このとき、糖度の指標となるBx値は上昇しており、また同時に、地下部乾物重の増加も認められた。これらはよく発達した細根からの養水分供給によるものと考えられた。以上より、ルートモデルはテンサイ根系の発達を把握することができる有効な手段であることが明らかとなった。

P-9 土壌環境の差異がアマの生育に及ぼす影響

浜崎翔悟・渡部紀子・豊福恭子・小川敦史 (秋田県立大学)

(連絡先: b08f032@akita-pu.ac.jp)

アマはかつて日本では繊維作物として栽培されていたが、化学繊維の普及により現在はほとんど北海道の一部でしか栽培されていない。しかし、カナダや北欧においては現在も食用や油を得るための作物として栽培されており、その油は健康によいとされている。本研究では、アマの生育に土質や基肥量、追肥時期、土壌含水率の違いがどのような影響を及ぼすかを調査した。

【材料および方法】

供試材料としてアマ (*Linum usitatissimum*) を用いた。土質と基肥量の差異が生育に与える影響を調査するため、基肥として多肥区には 1m^2 あたり 200 g、少肥区には 1m^2 あたり 50 g 化成肥料 (N : P : K = 8 : 8 : 8) を施肥し、砂質および黒ボク土壌で栽培した。追肥時期の影響を調査するため、基肥として肥料を 1m^2 あたり化成肥料 50g、追肥として 25g 時期を変えて施肥した。生育期間中に草丈、分枝数を調査し、収穫後に収量を調査した。開花後の土壌含水率の差異が収量に与える影響を調査するため、1/5000a ワグネルポットに圃場容水量 45.7%の土壌と 4 g の化成肥料を充填し、開花前まで栽培した後、人工気象室に移し、土壌含水率 20%、30%、40%、45%、および湛水区を設定し 26 日間栽培した。その後、収穫物の解析を行った。

【結果および考察】

土質と基肥量の違いによって、アマの生育には大きな差が見られた。土質の違いにより、草丈に差はないものの、収量は黒ボク土壌のほうが砂質よりも多かった。これは、土壌保肥力の違いによるものだと考えられた。基肥量の違いにおいて、草丈や収量に大きな差を示さなかった。そのため、土質が収量に大きな影響を与える可能性が考えられた。草丈には追肥時期の違いが影響せず、追肥を行わなかった処理区と同様の生長を示した。この結果、草丈には追肥はほとんど効果がなく、基肥によって影響されることが考えられた。また、分枝数にも追肥の影響はなかった。収量に与える影響については現在調査中である。

開花後の土壌含水率の差異が生育に与える影響を調査したところ、湛水区では湛水開始 7 日後に植物体が衰弱した。また、40%、45% 処理区と比べて開花数は減少し、開花数しても結実しないものが多かった。さらに、一房あたりの粒数は他の処理区と大きな差はないが登熟歩合が大きく低下した。地上部乾物重は他の処理区と差が認められなかったが、地下部では低下した。これらの結果から、開花後の土壌還元状態がアマの生育に大きく影響したと考えられた。20%、30% 処理区では、40%、45% 処理区と比べて開花数が減少した。これは、水分の減少が花芽の形成や開花に影響したと考えられた。今回は生育後期のみの調査であったため、今後は生育初期や中期での土壌含水率の影響により、どの時期にどのような影響を受けるかを調査し、生育期間全体での土壌含水率の影響を考えていく必要がある。

これらの調査から、アマの生育は土壌の環境に大きく影響され、この差異は、施肥量の違いにはあまり影響されず、その他の根圏の環境に大きく左右されると考えられた。

P-10 X線 CT によるイネ種子根における通気組織の可視化

坂東理史¹, 唐原一郎², 須藤宇道², 玉置大介³, 上杉健太朗⁴, 山内大輔³, 峰雪芳宣³¹富山大・理・生物, ²富山大・院・理工, ³兵庫県大・院・生命理学,⁴高輝度光科学研究センター

(karahara@sci.u-toyama.ac.jp)

灌漑の行き届いた多孔土壌における酸素濃度は空気中とほぼ変わらないが、水中での酸素拡散係数は空気中の値よりもはるかに小さいため、冠水時の土壌は嫌気的環境となり、植物の根はダメージを受ける。そのため、湿地性植物は、根に通気組織と呼ばれる細胞間のスペースを発達させることで、地上部からの酸素の供給および根からの二酸化炭素の排出を行わせる。通気組織形成過程の解明は植物の嫌気応答のしくみを明らかにする上で重要なテーマである。しかし、通気組織は組織と呼ばれるもののその実細胞間隙であるため、通気組織そのものを蛍光色素等の生体染色により可視化しその発達を経時的に追跡することは困難である。一方で、ナシ等の果実において非破壊的に通気組織を観察するために、シンクロトン放射を用いた X 線 CT 法が有用であることが示されている。本研究では、比較的広範囲において高解像度の画像を取得することが出来る放射光施設 Spring-8 の BL20B2 において X 線 CT 撮影を行い、イネ (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica* cv. Nipponbare) の種子根における通気組織の非破壊的な観察を試みた。

筆者らは、根の側面を寒天で挟んで 2 方向から異なる処理を施し、処理区側と対照区側との間で組織の発達を比較する実験系を考案し既に報告した。この実験系を用いて、根の側方よりマンニトール処理を行うと、マンニトール処理側では通気組織が顕著に発達することを見出している。そこでまず、この実験系を用いて、イネの根の通気組織が X 線 CT により検出されるか否かを調べた。270mM マンニトールを含む 2%(w/v)寒天培地と、マンニトールを含まない寒天培地で挟んで生育させたイネの種子根の X 線 CT 撮影を行い三次元可視化を試みた。その結果、マンニトール側において、観察に用いた切片の全域で通気組織が発達していることが確認され、通気組織の観察に X 線 CT 撮影および 3D モデルによる視覚化は非常に有効であることが示された。

次に、非破壊的に通気組織形成の経時観察を行うための実験系を開発した。ピペット内に寒天培地を作製し、その中で根を生長させることにより、根を取り出さずに X 線 CT 観察を行うことが可能となった。通気組織は、細胞の角隅において細胞壁同士が離れることにより形成される離生通気組織と、細胞死によって細胞間に形成される破生通気組織に分けられる。特にイネの根においては、破生通気組織が顕著に形成される。この方法を用いることで、イネの種子根の先端部付近における離生通気組織の三次元的なつながりを捉えると同時に、破生通気組織形成の開始部から基部にかけて、種子根における通気組織の全体像をほぼ丸ごと捉えることに成功した。

P-11 植物腫瘍遺伝子 *6b* の発現によるタバコ根の形態変化沢田泰樹^{1*}・加賀屋拓朗¹・小川敦史¹・高橋幸子¹・我彦広悦¹ (¹秋田県立大)

連絡先 (b08f021@akita - pu.ac.jp)

アグロバクテリウムという微生物は植物に感染してこぶ状の腫瘍：根頭癌腫病（クラウンゴール）を作る。バクテリアが持つ Ti - plasmid の一部 T-DNA が植物の染色体に組み込まれ、その遺伝子の働きで細胞は増殖し、腫瘍を形成する。このような植物腫瘍遺伝子群の一つに *6b* 遺伝子がある。AKE10 株から得られた AK-*6b* 遺伝子を発現しているタバコの組織は培地にオーキシシンやサイトカイニンを含まなくても増殖する、生じた組織は形態変化を起こしている、オーキシシンの極性移動が低下しているなどの特徴を持つ。従って AK - *6b* 遺伝子とオーキシシンやサイトカイニンの作用とは密接な関係を持つことが明らかになってきた。しかし、まだ機能不明な部分が多い遺伝子でもあり、本遺伝子を用いてこのような植物ホルモンの作用機構を解明するというのが本研究の目的である。これまで茎や葉などの地上部での解析が成されてきたが根については行われてはいなかった。AK - *6b* - タバコの根は野生型に比べて太く、数が多いなどの形態的な特徴が見られる。そこで組織切片を作製して、内部構造を調べた。今後オーキシシン局在をモニタリングするレポーターキメラ遺伝子 DR5 : GUS を用いた方法および特異的抗体を用いた方法でオーキシシンの局在を調べ、形態学的な変化と植物ホルモンの局在の関連を明らかにしようと考えている。

写真のタバコの系統：S2-9-3-C(*6b* 遺伝子導入)左：*6b* 遺伝子発現あり 右：*6b* 遺伝子発現なし

P-12 植物腫瘍化タンパク質 AK-6b の機能解析

加賀屋拓朗 1*・藤田直子 1・沢田泰樹 1・我彦広悦 1 (1 秋田県立大)

連絡先 (M10E002@akita-pu.ac.jp)

土壌細菌 *Agrobacterium tumefaciens* は、植物に感染すると、根頭痛腫病 (クラウンゴール) と呼ばれるこぶ状の細胞塊を作る。この性質は、アグロバクテリウムが染色体以外に細胞内にもつ巨大なプラスミド (Ti プラスミド) の一部である T-DNA 領域が、植物の染色体に組み込まれることによって生じる。T-DNA には、オーキシシン合成に関わる遺伝子、サイトカイニン合成に関わる遺伝子、それらを調節するアクセサリー遺伝子 (AK-6b)、アグロバクテリウムがエネルギー源として利用する特殊なアミノ酸をつくる遺伝子など植物腫瘍化遺伝子群が存在している。AK-6b 遺伝子もその一つであり、リンゴの木から採取された *Agrobacterium tumefaciens* AKE10 株由来である。この AK-6b 遺伝子を植物に導入すると、形態学的・生理学的に著しく変化する。

1. タバコではリーフディスクがホルモンフリー培地でカルス化し増殖するが、内生のオーキシシン量やサイトカイニン量には変化がない。
2. 植物体では顕著な形態変化が引き起こされる。地上部では、葉脈が密集し枝分かれが少なくなる、葉軸に沿って突起状の組織ができる、突起組織内部にリグニンの蓄積が見られるなどである。地下部では、根が短くなり、太くなる。地下部でも、地上部と同じような変化があるかどうかは、現在調査中である。
3. オーキシシンやサイトカイニンが突起組織に局在する。
4. オーキシシンの極性移動が低下する。
5. フェニルプロパノイドの代謝経路が変化し、AK-6b の発現量に比例してフラボノイドなど特定フェノール物質の蓄積量が増える。特に根では、この蓄積量が地上部と比べて著しく多くなる。
6. 細胞分裂に関わるホメオボックス遺伝子の発現が促進される。このように AK-6b は植物に多様な変化をもたらすが、その分子生物学的な作用機構は不明な所が多い。現在までに、AK-6b タンパク質は核内に局在し、転写因子やヒストンと結合することが報告されており、転写制御的に関与していると示唆されている。本研究では、さらに AK-6b の分子機能を突き止めるために、私たちは Profinity eXact Protein Purification System という新しい手法を用いて、タンパク質を高度に精製した。N 末端側のアミノ酸配列を測定して、精製されたタンパク質が AK-6b であることを確認した。現在、抗体を作製中であり、これを使って AK-6b が形質転換植物のどの組織に存在し、オーキシシンやサイトカイニンの局在と関連性があるか実験する予定である。また、AK-6b がフェニルプロパノイド代謝系を構成する酵素群の一つとして働くため、フラボノイドが蓄積すると仮定して、AK-6b の酵素活性検出を試みる。

P-13 Root Respiration and Porosity Development in Wheat Seedling in Response to Root Hypoxia in Combination with High Root Zone TemperatureMd. Alamgir Hossain ¹, Hideki Araki ² and Tadashi Takahashi ²¹ United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, Japan² Faculty of Agriculture, Yamaguchi University, Japan

We found that Haruyutaka, a Hokkaido bred cultivar, always produces lower grain yield than Daichinominori, a Kyushu bred cultivar under west Japan environment, while vice-versa under Hokkaido environment (under submission). The environment of west Japan is characterized by excessive precipitation and hot summer. Excessive rainfall may cause waterlogging which induces oxygen deficiency in root environment, i.e. root hypoxia. We attempted to study root respiration and porosity development in roots to compare the tolerance of the two cultivars against root hypoxia and high root zone temperature.

Materials and Methods

A hydroponic experiment was conducted with two wheat cultivars, Haruyutaka and Daichinominori. The seedlings of the cultivars were established on the half strength Hoagland's solution with double concentration of iron in 20 L containers. The nutrient solution was changed once a week and was continuously flushed with ambient air. Root zone temperature and hypoxic treatments were imposed at 30 d old seedlings (at 4th leaf fully expanded stage). The treatments were continued for 20 d. The temperature of the nutrient solution was maintained at 30°C and 15°C for high and low root zone temperature, respectively using 2 large water baths. In hypoxic treatment, nutrient solution was made with de-aerated water and was flushed with pure N₂ gas at the rate of 300 ml min⁻¹, while the flushing with ambient air was continued for aerated ones. After 20d of N₂ gas treatment, all the solution was flushed with ambient air with root zone temp of 20°C for recovery of 10d. Four plants were sampled from each treatment at 0, 7, 13, 20 and 30 d after initiation of treatments. The rate in root respiration and % root porosity were measured by using a CO₂ probe (GMP 343, VAISALA Co., Finland) and a pycnometer (Jensen et al., 1969), respectively.

Results and Discussion

Root hypoxia showed the significant effects on root respiration and porosity development. Hypoxia showed surprisingly higher root respiration than in aerated ones both in high and low root zone temperature in both cultivars. However, the hypoxic roots could recover its normal rates of respiration after resumption of aeration. The root respiration was significantly lowered by high root zone temperature in both aerated and hypoxic condition. The raised respiration by root hypoxia was more pronounced in Daichinominori than in Haruyutaka. The root porosity, i.e. aerenchyma development in roots increased with the advancement of root hypoxia in both cultivars; however, there was no difference between the cultivars and also between high and low root zone temperature in developing root aerenchyma. The results suggest that both the cultivars might have tolerance to a shorter period of root hypoxia; however, Haruyutaka may have more tolerance than Daichinominori.

P-14 トマトのオランダと日本品種における根の通導コンダクタンスと根圧の比較

権藤浩司¹・荒木英樹²・辻 渉³・中野明正⁴¹ 山口大学大学院農学研究科・² 山口大学農学部附属農場・³ 鳥取大学乾燥地研究センター・⁴ 野菜茶業研究所 (連絡先: 荒木英樹 ahide@yamaguchi-u.ac.jp)

トマトの多収性オランダ品種は日本品種と比較して収量が高い。オランダ品種は日本品種に比べ、①葉面積を拡大する能力が高く総受光量を増やし個体あたりの炭素同化量を高める、②着花数が安定し果実あたりの新鮮重が大きい、③不良果が少なくカルシウムの吸収能力が高い可能性があることが指摘されている (中野ら 2007, 園芸学研究 6 巻別 2 p274)。このような地上部の生態生理学的特徴を支える根系には、大きな葉面積からの蒸散および果実生産量に見合う養水分吸収能力が求められる。本研究では、蒸散流に対する根組織の水の通しやすさ (通導コンダクタンス) と能動的なイオン輸送によって生じる根圧の大きさを、オランダと日本品種の間に比較し、多収性トマトの養水分吸収特性を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

根の通導コンダクタンスの測定実験では、2008 年はハウス桃太郎 (日本品種) と Quest (オランダ品種)、2009 年はオランダ品種に Matrix を供試した。それぞれ 2008 年 7 月 1 日と 2009 年 6 月 1 日に播種し、立方体のロックウール培地 (1 辺 0.15m) で栽培した。栽培期間中は、養液 (大塚ハウス A 処方 1/2 濃度) をドリップ灌水装置でかけ流した。測定は、オランダ品種が 5 段花開花期となった 2008 年 9 月 17 日 (播種 77 日後) と 2009 年 8 月 17 日 (播種 81 日後) に、ルートプレッシャーチャンバーを用いて行った。チャンバー内の圧力を 0.15、0.20、0.25、0.30 MPa と増加させ、圧力と導管液流速との回帰直線から通導コンダクタンスを算出した。同型のチャンバーを 2 つ用いて、各品種 1 個体ずつ同時に測定した。午前 10 時から 1 時間おきに各品種 4 個体ずつ測定した。測定後、70°C で培地を乾燥し、栽培前後のロックウール重から根乾物重を求めた。

根圧の測定はハウス桃太郎と Matrix で行った。両品種とも 2009 年 7 月 23 日に鳥取砂丘砂を充填した 500 ml ポットに播種し、養液 (大塚 A 処方 1/4 濃度) を適宜灌水した。9 月 5 日 (播種 44 日後) に地上部を切除し、茎基部切り口に圧力トランSDューサーを取り付け、溢泌液によって生じる圧力を測定した。

結果と考察

両年とも、根系全体の通導コンダクタンスはオランダ品種が日本品種に比べて高く、Quest と Matrix はそれぞれ 238 と 248 $\text{mg s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ で、ハウス桃太郎のおよそ 1.6 倍と 1.9 倍であった。Matrix の葉面積はハウス桃太郎の 1.3 倍であり、根系全体の通導コンダクタンスはそれを上回る違いがあることから、Matrix の地上部はハウス桃太郎よりも高い吸水能をもつ根系に支えられているといえた。同じく、根重もオランダ品種は日本品種よりも大きく、それぞれおよそ 1.2 倍と 1.3 倍であった。根重あたりの通導コンダクタンスも同様にオランダ品種で高く、それぞれ 16.8 と 25.9 $\text{mg g}^{-1} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ であり、ハウス桃太郎よりもおよそ 1.3 倍と 1.5 倍高かった。すなわち、オランダ品種は根重あたりの吸水効率が高く、少ない乾物投資でも多くの水分を地上部に供給できる。また、導管液中の浸透物質濃度と流量の積から求められるイオン輸送速度は、Matrix で有意に高かった。一方、根圧の変化をみると、Matrix とハウス桃太郎のいずれも 100~250 kPa 程度の高い根圧を示しており、今回供試した 44 日齢程度の苗では根圧に違いがないと結論した。

P-15 オーキシシンによるイネ側根メリステムサイズの制御

中村真也・出口崇・木富悠花・山内章・犬飼義明*

名古屋大学大学院生命農学研究科 (*連絡先 E-mail: inukaiky@agr.nagoya-u.ac.jp)

イネには明らかに根端メリステムのサイズが異なる2種類の側根(L型側根とS型側根)が存在する(河野ら 1972)。これらの側根の割合は、土壤環境の変化、例えば湛水から乾燥へと土壤水分が変動する条件下において大きく変化する(Roelら 2008、第224回日本作物学会講演会)。川田と芝山(1965)は、種子根や冠根といった主軸根の根端を切除した場合、切除部位近傍からはL型側根のみが誘導されるが、主軸根を形成途中の側根原基が存在する部位の直下で切除した場合においても、その原基はL型へと分化することを認めた。従って、側根原基形成の初期段階では、いずれの側根へと分化するのかについては必ずしも決まっていないと考えられるが、その仕組みは解明されていない。現在、我々はこのメリステムサイズの決定機構について解析を進めている。

根の発生にはオーキシシンが非常に重要な役割を担っている。そこで、主軸根の根端切除によるL型側根の誘導とオーキシシンの関わりを、オーキシシン誘導性レポーター遺伝子(DR5::GUS)を導入したイネ形質転換体により解析した。その結果、L型側根の発生部位局所的に顕著なGUSの発現が観察された。また、水耕液に天然オーキシシンであるインドール酢酸を処理した場合、対照区に比べS型側根数は有意に減少したが、L型側根数は逆に増加する傾向が認められた。従って、オーキシシンによりL型側根化、すなわち側根メリステムサイズの増加が促進されることが明らかとなった。

一方、我々はこのサイズ決定の分子機構を解析するために、QTL解析、およびポジショナルクローニング法により、側根メリステムサイズの制御に関わる *LATERAL ROOT MERISTEM SIZE1* (*LMS1*) の単離を試みてきた(出口ら 2007、第26回根研究集会)。その結果、第6染色体長腕に座乗する RING finger-like zinc finger motif を持つ転写因子様遺伝子が *LMS1* の候補遺伝子としてあがっている。そこでまず、本候補遺伝子の発現を定量的 RT-PCR により解析し、*LMS1* 候補遺伝子はL型側根発生部位で発現することを確認した。次に、イネ品種「日本晴」と、基本的な遺伝的背景は日本晴であるが、*LMS1* 座乗領域を含む極一部の染色体領域がイネ品種「カサラス」に置換されている染色体断片部分置換系統(CSSL29)を用いて解析した。その結果、日本晴に比べCSSL29ではL型側根数が有意に多く、かつ *LMS1* 候補遺伝子の発現量も明らかに高かった。以上の結果から、土壤環境の変化による側根形成部位での内生オーキシシン量、あるいはオーキシシン感受性の変化が、*LMS1* 遺伝子の発現量を高め、その結果としてL型側根化、すなわち側根メリステムサイズの増加が促進されることが考えられた。

引用文献：河野ら(1972) 日作紀 41: 192-204., 川田と芝山(1965) 日作紀 33: 423-431.,

謝辞：本研究で供試した染色体部分置換系統群は、農業生物資源研究所イネゲノムリソースセンターから分譲を受けました。記して、感謝の意を表します。

P-16 低温土壌におけるイネの根長に関する QTL 解析

手塚耕一¹・川本朋彦²・松本眞一²・眞崎 聡²・小玉郁子²・佐藤(永澤)奈美子¹・櫻井健二¹・
渡辺明夫¹・高橋秀和^{1*}・赤木宏守¹ (¹秋田県大生物資源, ²秋田農技セ農試)

(*連絡先: h-takahashi@akita-pu.ac.jp)

【はじめに】

イネの直播適応品種には優れた苗立ち性を有することが必須で、特に播種期の低温条件での苗立ち性が求められている。これまでに低温条件で優れた苗立ち性を有する外国稲「Maratelli」と優良栽培品種「あきたこまち」との交雑後代を用いて、苗立ち性に関わる QTL を第 11 染色体に見出した。本研究では、苗立ち性の要因を明らかにする目的で、低温土壌条件での根の伸長を QTL 解析し、根の伸長と苗立ち性の関連を考察した。

【材料および方法】

実験には「Maratelli」と「あきたこまち」の F₂ (120 個体) から採取した種子 (各 20 粒) を供試した。4 月上旬に乾籾を苗箱に播種し、網室内で出芽までは水道水を灌水し、その後水道水を掛け流して栽培した (掛け流し区)。栽培に用いた水道水の平均温度は 14.7°C であった。実験は 2 回 (平成 15 年, 平成 16 年) 行い、播種後 50 日の根長および葉齢を調査し、出芽しなかった種子は解析から除外した。また、平成 16 年には水道水を灌水して栽培した灌水区を設けた。

イネの連鎖地図は 89 個の SSR マーカーで構築し、Multiple Interval Mapping 法 (Windows QTL Cartographer ver. 2.5) によって QTL を検出した。

【結果および考察】

掛け流し区の 2 回の実験において「Maratelli」の根長は「あきたこまち」の根長に比べて長く、F₂ の根長には連続的な変異がみられた。同区の葉齢は、「Maratelli」は「あきたこまち」よりもはやく葉を展開し、その F₂ では連続的な変異がみられた。いずれの形質においても「Maratelli」の値を超える F₂ 個体が見出された。

掛け流し区における根長および葉齢に関する QTL は第 1, 2, 3, 9 および 11 染色体に検出された。第 1 および第 3 染色体には両形質の QTL が近傍に検出され、両形質間に高い相関 (平成 15 年: $r=0.908$, 平成 16 年: $r=0.812$) がみられたこととの関連性が示された。これらの形質の値を高める遺伝子型は、前者が「あきたこまち」、後者が「Maratelli」であり、F₂ 個体で見出された超越分離はこれらの組換え型であった。灌水区で検出された根長および葉齢に関する QTL は、掛け流し区で検出された QTL と位置が異なった。

また、同じ材料を供試して低温条件における種子の発芽能力を評価し、第 1, 第 3 および第 11 染色体に QTL を検出している。これらの QTL が本実験で検出した QTL の近傍に位置したことから、低温条件での種子発芽がその後のイネの生育に影響し、低温土壌での根長や葉齢に関する QTL として検出されたものとみられた。

以上のことから、低温土壌での苗立ち性と根の伸長の関連は QTL においても示されたが、今後は播種期から苗立ちまでの各生育過程における QTL の解明が重要とみられた。

P-17 湛水条件下のダイズにおける二次通気組織を介した根粒への酸素供給

島村聡*・中村卓司・南條洋平・西澤けいと・藤郷誠・小松節子

(農研機構・作物研究所)

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

茎や根に通気組織が良く発達する湿生植物はその組織を通じて呼吸が盛んな根端部に酸素が供給されることで湿害を回避している。ダイズにおいても湛水条件下では茎や根、根粒にコルク形成層から二次的に通気組織（二次通気組織）が形成され、これまでの調査により、二次通気組織が形成されていない茎や湛水面からの地下部への酸素供給量は極めて少なく、そのほとんどは二次通気組織を通じたものであることを明らかにした。ところでダイズの根粒呼吸量は根に対して約5～6倍に達し、空中窒素固定には大量の酸素を消費する。湛水条件下においてもその環境に適応した根粒は高い活性を維持しており、二次通気組織を介して根粒に酸素が積極的に供給されていると考えられている。そこで本研究では、重酸素 (^{18}O) をトレーサとして使用し、湛水条件下で栽培したダイズの根と根粒における二次通気組織を介した酸素消費量の比較を行った。

【材料と方法】

ダイズ (*Glycine max*) 品種アソアオガリを供試し、グロースチャンバー内 (14 時間日長, 25°C) で実験を行った。淡色黒ボク土を充填したプラスチックポットに 1 ポット当たり 1 本立てで栽培し、播種後 10 日目 (初生葉展開期) から土壌表面+3cm の湛水処理を行った。湛水処理開始後 5～6 週間経過した個体を供試し、湛水面上に発達している二次通気組織に重酸素 (^{18}O , 95atom% 以上) を暴露した。なお、湛水面上の茎、湛水面下の茎、主根、不定根および根粒には二次通気組織がよく発達し、通気組織系が形成されていた。暴露処理開始 3 時間後に根および根粒組織中の水を真空蒸留法で抽出して、呼吸で生じた水 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6^{18}\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2^{18}\text{O}$) の重酸素測定には安定同位体比質量分析計を使用した。また、新鮮重から乾物重 (80°C で 48 時間以上乾燥) を差し引いた量を根および根粒に含まれる水の量とした。そして、根および根粒の抽出水の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (‰) と ^{18}O atom%excess をもとに酸素消費量をそれぞれ算出した。

【結果と考察】

重酸素暴露前の根および根粒から抽出した水の $\delta^{18}\text{O}$ 値 (‰) はほぼ同程度であったが、茎に発達した二次通気組織へ重酸素の暴露を開始して 3 時間経過すると、根で 12‰増加したのに対して、根粒では 107‰で大きく増加した。また乾物重当たりの酸素消費量をみると、根で約 $2 \mu\text{mol/DWg/h}$ に対して根粒ではその 4 倍の約 $8 \mu\text{mol/DWg/h}$ であったが、呼吸で生じた水は代謝や蒸散などに使用されるため、これらの酸素消費量は過小評価されていると思われる。以上より、湛水条件下に適応した根粒は畑条件下と同じように高い呼吸活性を維持していることが明らかになった。しかしながら、ダイズの根粒呼吸量は根の呼吸量に対して約 5～6 倍とされているが、本研究では 4 倍程度とやや低く、畑条件と湛水条件では呼吸量に違いがあるのかもしれない。

P-18 種々の堆肥施用が作物の遊離アミノ酸含量に与える影響について

○橋本真明 頼泰樹 中村進一 服部浩之 (秋田県立大学 生物資源科学部)

(連絡先: b08f031@akita-pu.ac.jp)

[背景]

近年、化学肥料の多量施肥によって流亡した硝酸による地下水の汚染や河川の富栄養化が問題となっている。また、将来にわたる持続可能な食糧生産のため、養分の循環・再利用が求められている。さらに、輸入品に対する国内農作物の競争力を強化し、農家の所得を向上させる必要があり、国内農産物のより一層の高品質化や安全性確保による差別化が必須である。有機質肥料を施用することにより付加価値がついた有機農作物は消費者からの需要も高い。これらの点からも有機農業が注目されている。しかし、この付加価値には曖昧な点が多いのも事実である。

有機農業に用いられる有機質肥料は化学肥料とは異なり、窒素源の多くがタンパク質やアミノ酸といった有機態窒素で存在している。それらが分解、無機化されることで肥効を発揮すると一般的には考えられている。しかし、最近の研究で植物は無機化された窒素だけでなく、有機態窒素も直接吸収・利用していることが示唆されている。今回、発表者は有機態窒素の中でも無機化過程において必ず生じる低分子のアミノ酸に着目した。植物がアミノ酸を直接吸収・利用することで、同化産物が節約され生育が促進される。もしくは、植物体中の遊離アミノ酸量が増加することによる作物の付加価値。これらの2つの効果に着目し、その効果が圃場レベルで見られるかを検討としている。

[材料及び方法]

今回の実験では堆肥や施肥法を変えて圃場栽培を行った。堆肥は牛糞堆肥と豚糞堆肥を用いた。施肥法は堆肥を全体に撒き混合する全層施肥、作物の真下に堆肥を播く直下型施肥、土壌表面に堆肥を置く表層施肥の3種の施肥を行った。土壌は砂質土、黒ボク土圃場でチンゲンサイ、コマツナを栽培した。施肥量は肥料ごとの可吸態窒素量で換算し、窒素量は 15kg/10a とし、堆肥区は全窒素量の 75% が堆肥由来の窒素になるように設定した。初期成育の補助のために全窒素量の 25% 分を硫酸で補った。化学肥料区は全窒素量のすべてを化成肥料のみで施用した。

4週間の栽培を行った後採取・分析を行った。分析項目は植物体中の全窒素・全炭素、植物体中の遊離アミノ酸・アンモニア量、導管液中のアミノ酸量、以上の三項目について行い、化学肥料区と堆肥区とで違いが見られるかを検討した。

[結果及び考察]

堆肥区の作物の全窒素量は化学肥料区のそれと比べて下回っていたにも関わらず、植物体中の遊離アミノ酸量は堆肥区が化学肥料区を大きく上回っていた。また、遊離アミノ酸量の差は施肥法や堆肥の種類によって大きく異なり、特にコマツナでは豚糞直下施肥区において、チンゲンサイでは豚糞表層施肥区で遊離アミノ酸量が多く、これらの栽培区でコマツナは化学肥料区の約2倍、チンゲンサイでは約7倍もの差が見られた。次に、アミノ酸の直接吸収の可能性があるかを確認するため、土壌中のアミノ酸を直接吸収がおこるとその影響がすぐさま見られると考えられる導管液中のアミノ酸を測定した。その結果、生育2、3週目では化学肥料区と堆肥区とで大きな差はなかったが、4週目には堆肥区が化学肥料区を大きく上回っていた。

施肥法を変えることで植物体中の遊離アミノ酸量に顕著な差が見られた。チンゲンサイは土壌表面に根が分布しており、コマツナは土壌の深くまで直根が入っている。これらの根系の発達とアミノ酸の吸収量には深い関係があり、植物ごとにアミノ酸を吸収させる最適な施肥法が存在することが示唆された。

第 32 回根研究集会のご案内

第 32 回根研究集会は、茨城県つくば市の農研機構・中央農業総合研究センターで行います。今回は作物研究所との共催で 2 日間の開催となります。平日の開催になりますが大勢の皆様のご参加を心よりお待ちしております。

<日時> 2010 年 4 月 20 日 (火) 13:00～ 21 日 (水) 12:00

<場所> 農研機構・中央農業総合研究センター 1 階大会議室

<参加費等> 研究集会参加費：1000 円 (予定)、懇親会費：3500 円 (予定)
現地見学等は、今のところありません。

<問い合わせ先、参加発表申し込み・講演要旨の送付先>

〒305-8518 茨城県つくば市観音台 2-1-18

作物研究所 大豆生理研究チーム 島村 聡

E-mail:shimamu@affrc.go.jp

TEL : 029-838-8392 FAX : 029-838-8392

<発表形式>

◆ 口頭発表：1 題 15 分 (発表 12 分、質疑応答 3 分) の予定

◆ ポスター発表：1 時間を予定しています。

口頭発表の希望が多い場合は、ポスター発表への変更をお願いすることがあります。
ご了承下さい。

<参加・発表申し込み>

2010 年 3 月 26 日 (金) までに、電子メールまたは FAX で、以下の様式 (ウェブ上にも載せます) で参加・発表申込書を上記の送付先にお送りください。なお、電子メールの表題は「根研究集会申し込み」としてください。申し込みされた後、返信メールを差し上げますが、申し込み後 1 週間たっても返信メールが届かない場合は、お手数ですが、上記問い合わせ先にご連絡ください。

<講演要旨>

2010 年 4 月 9 日 (金) までに、MS-WORD で作成した講演要旨 (作成要領は以下を参照) を電子メールの添付ファイルでお送りください。メールが使えない場合は、郵送でプリントアウトしたものをお送りください。なお、電子メールの表題は「根研究集会講演要旨」としてください。

【根研究会事務局からの告示】 提出された講演要旨は、そのまま、会誌「根の研究」に再掲するほか、研究会の企画で、ホームページ・J-Stage等で広く公開することがあります。要旨の提出に際し、ご同意頂いたものと見なします。

<プログラムの概要(予定)> (発表題数などにより変更の可能性があります)

4月20日(火)

12:30~13:15 受付

13:15~15:15 口頭発表

15:15~15:30 休憩

15:30~16:15 根研究会総会

16:15~17:15 ポスター発表

移動

17:30~19:15 懇親会(筑波事務所内の食堂)

4月21日(水)

9:00~10:30 口頭発表

10:30~10:45 休憩

10:45~12:00 口頭発表(場合により午後まで延長します)

<講演要旨の作成要領>

添付ファイルで送付していただいたものをプリントアウトして、そのまま白黒で印刷します。

- 1 A4版1ページに、上3.5cm、下および左右2.5cmずつの余白を取る。
- 2 冒頭に表題・講演者名・所属・連絡先(電子メールアドレス)を記載した後、1行あけて本文を書く。
- 3 表題:ゴシック系あるいは明朝系の太字・12ポイント・センタリング(中央寄せ)。
- 4 講演者名・所属・連絡先:明朝系・11ポイント・センタリング。連絡先は括弧に入れる。
- 5 本文:明朝系・10.5ポイントを目安にする。

その他の詳細は、「根の研究」掲載の要旨集を参考にして下さい。また、送っていただいた要旨がそのまま「根の研究」誌にも掲載される予定です。

<口頭発表の要領>

口頭発表では、液晶プロジェクターを利用できます。液晶プロジェクターはWindows対応です。Macについては、パソコンをお持ちいただいてプロジェクターに接続していただくかまいません。スライドはパワーポイントで作成し、USBメモリでお持ちください。受付時間中に試写を行ってください。パワーポイントのバージョンは2003です。

<ポスター発表の要領>

幅 80cm, 高さ 115cm のボードを用意します。A0 サイズより若干小さくなりますのでご注意ください。テープ、ピンを運営委員会で用意します。

<会場へのアクセス>

JR でお越しの場合

JR 牛久駅西口から関東鉄道バス

谷田部車庫・生物研大わしキャンパス・筑波センター・大学中央・大学病院行きに乗車 → 農林団地中央下車（所要時間：約 20 分）

つくばエクスプレスでお越しの場合

みどりの駅から関東鉄道バス

谷田部車庫・農林団地中央・榎戸行きに乗車→農林団地中央下車（所要時間：約 15 分）

駅からのアクセス、車でお越しの場合の道順などは以下のホームページをご参照ください。

<http://www.naro.affrc.go.jp/top/annai.html>

<昼食>

農林水産技術会議事務局筑波事務所内の食堂および売店を利用できます。会場から徒歩 5 分ぐらい離れています。

<宿泊>

市内に多くのホテルがありますので、各自お申し込み下さい（特に斡旋はしません）。

集会の最新情報は、随時、根研究会のホームページにも掲載します。

<運営委員会>

委員長 小柳敦史（作物研究所）

副委員長 近藤始彦（作物研究所）

事務局長 島村 聡（作物研究所）

*集会の最新情報・プログラムは、随時、根研究会のホームページにも掲載します。

*新型インフルエンザが著しく蔓延し、研究集会開催による感染の危険が高いと危惧される状況になった場合には、研究会執行の判断で中止または延期する可能性があります。

第 32 回根研究集会 参加申込書

表題 『根研究集会申し込み』

- 1 申込者
- 2 所 属
- 3 住 所 〒
- 4 TEL, FAX
- 5 E-mail
- 6 発表の有無： ①口頭発表 ②ポスター発表 ③発表なし
- 7 発表題目
- 8 講演者（所属）
- 8 口頭発表の形式： プロジェクター（ Win Mac ）
- 9 懇親会の参加： 参加する 参加しない

この申込書の送り先は、E-mail: shimamu@affrc.go.jp
または FAX : 028-838-8392 です。

申し込み後、1 週間たっても確認の連絡が届かない場合は、島村までお問い合わせ下さい。

【カレンダー】

植物・土壌・環境など、根に関わりのある学術集会の情報をお寄せ下さい(E-mail : neken2010@jsrr.jp)

*各会議の正確な情報はご自身でご確認下さい。申し込み・問い合わせは、直接主催者までコンタクトして下さい。
*海外での会議の日本語名称は、根研究会事務局で便宜的に意識したものです。

2010 年

イネイネ・日本プロジェクト第7回シンポジウム 1月30日 *New!*
2010年1月30日; 東京; <http://www.ineine-nippon.jp/meeting.htm>

2010 土壌水分ワークショップ 3月13-14日 *New!*
Soil Moisture Workshop 2010
2010年3月13日-14日; 東京
連絡先: kaihotu@hiroshima-u.ac.jp

第4回 ダイズ研究会 3月15-16日 *New!*
2010年3月15日-16日; つくば市
<http://cropgenome.project.affrc.go.jp/kenkyu/symposium/100315-16meeting.html>

第32回 根研究集会 2010年4月20日(火)-21日(水)
中央農業総合研究センター(つくば市)
日程が変更になりました。本号に案内を掲載しています。ご参照ください

第2回植物遺伝資源のゲノミクス国際シンポジウム 4月24-27日 *New!*
2nd International Symposium on Genomics of Plant Genetic Resources
April 24-27, 2010; Bologna, Italy; <http://www.gpgr2.com/>

第21回国際シロイヌナズナ研究会議 6月6-10日 *New!*
The 21st International Conference on Arabidopsis Research, ICAR2010
June 6-10, 2010; Yokohama, Japan (パシフィコ横浜)
<http://arabidopsis2010.psc.riken.jp/>

第10回植物嫌気応答学会会議 6月20日-25日
The International Society for Plant Anaerobiosis (ISPA) 10th Conference
June 20-25, 2010; Volterra, Tuscany, Italy; <http://www.plantlab.sssup.it/ISPA2010/>

Plant Biology 2010 (American Society of Plant Biologists 年会) 7月31日-8月4日
July 31 - August 4, 2010; Montréal, Canada; <http://www.aspb.org/meetings/>

第5回国際樹木根シンポジウム 8月8-12日
Fifth International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants
August 8-12, 2010; University of Victoria, Victoria, BC, Canada
<http://web.uvic.ca/woodyroots/Home.html>

第3回国際稲会議(IRC2010) & 国際稲研究所(IRRI)設立50周年 11月8-12日
The 3rd International Rice Congress (IRC2010) [coinciding with the 50th anniversary of the International Rice Research Institute]
November 8-12, 2010; Hanoi, Vietnam; <http://www.ricecongress.com/>

第33回根研究集会 2010年秋 兵庫県立大学
詳細は、後日掲載します。

情 報

2011 年

第 18 回国際植物学会議 7 月 23 日-30 日

XVIII International Botanical Congress

July 23-30, 2011; Melbourne, Australia; <http://www.abc2011.com/>

第 7 回根の構造と機能国際シンポジウム 9 月 5-9 日 *New!*

VII International Symposium on Structure and Function of Roots

September 5-9, 2011; High Tatras, Slovakia



第 3 回根圏会議 9 月 25 日-30 日

Rhizosphere 3

September 25-30, 2011; Perth, Australia

<http://rhizosphere3.com/>

第 6 回不定根会議

6th International Symposium on Root Development: Adventitious, Lateral and Primary Roots

2011 年[日程詳細未定]; Quebec, Canada

2012 年

第 8 回国際根研究学会 (ISRR) シンポジウム

8th Symposium of International Society of Root Research (ISRR)

Summer 2012; Dundee, DD2 5DA, Scotland, UK.

=====

「苅住」海外渡航支援のご案内

2010年7月－12月 渡航分の申請は2010年4月末日〆切です

2011年1月－6月 渡航分も4月末日までに申請できます#

募集要項は、次頁をご参照ください

2011年1月－6月渡航分の申請最終締切は2010年10月末日ですが、
2010年4月末日までに申請すれば、半年早く審査結果が出て
採用の場合は早く助成を受けることができますし、不採用の場合、
半年後に再度応募できます。

根研究会若手会員（40歳以下）に対する海外渡航費等支援

（日本語名称：根研究会「苅住」海外渡航支援）

（英語名称：JSRR (Karizumi) Young Researcher Travel Award）

根研究会では、若手会員の国際的な活躍を支援するため、海外で開催される学会等において研究成果を公表するため、あるいは、海外での研究・調査のための渡航経費の一部を支援いたします。本支援は、苅住会員による寄付金の一部をより有効に活用するための一環として実施するものです。奮ってご応募ください。

支援目的、支援対象者および支援額

根研究会所属の若手会員（申請時の年齢が40歳以下）の国際的な活躍を支援するため、海外の学会等に参加して根に関する研究成果を公表するため、あるいは、海外での研究・調査のための渡航経費の一部として、毎年50万円を限度として支援します。支援する額は一人当たり5－20万円とします。

旅費の一部を申請するとか、参加登録料の分を申請するという利用の仕方でも結構です。

申し込み先：根研究会事務局

・電子メール：neken2010@jsrr.jp（PDF または MS-Word のファイルを添付して下さい）。

・郵送先：〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学 大学院農学生命科学研究科 栽培学研究室
阿部淳気付。

数日のうちに受け取りの通知をします。通知が来ない場合は、事務局にご確認下さい

学生の場合は、指導教員の署名または印が必要です。郵送となりますが、あわせて、電子メールでもお送りください。電子メールの方は、指導教員の署名または印の部分は空欄で結構です。

学生でない方は、電子メールの方だけで結構です。

審査と決定通知

会長、副会長で協議して支援の可否と支援の額を決定し、締切月の翌月末までに申請者に通知します。

なお、採用人数と支援額は、前期・後期のバランスや年間の総額などを考慮して決定します。

研究成果発表での渡航の場合、根研究会事務局から会議の主催者にも連絡します。

支援を受けた方は、帰国後速やかに研究会誌の「報告」欄に会議の概要を投稿して頂きます。

また、発表課題が事前審査等により受理されなかった場合や都合により渡航できなくなった場合には、支援金全額を速やかに返済して頂きます。

申請書の記載内容（A4 1枚 程度）

（申請は、本人申請を原則とし、学生の場合は指導教員等の承認が必要）

1) 申請者の氏名、所属、連絡先、生年月日

（学生の場合は指導教員等の所属・氏名・印鑑をもって指導教員等の承認とします）：

2) 会議等の名称と開催期間・開催場所 または 研究・調査の期間・場所：

3) 発表課題名または研究課題名（発表の場合は口頭・ポスターなどの発表形式の希望もお書き下さい）：

4) 渡航日程：

5) 申請額と支援金の使途：

6) 現在行っている主な研究の概要（400字程度）

7) 研究成果発表の場合は、希望する発表形式（口頭発表、ポスター発表など）

以上

根の研究

第18巻 (2009年) 総目次

原著論文	Root contribution to stay-green in rice (<i>Oryza sativa</i> L.) subjected to desiccated soils in the post-anthesis period Tien Ba HOANG and Tohru KOBATA5(1) ブロックサンプリング法、トレンチ法、地中レーダ法によるアカマツ林の根現存量および根系分布の推定 牧野直樹・平野恭弘・檀浦正子・山瀬敬太郎・ 青野健治・五十嵐鉄朗・石井政博・金澤洋一39(2) マイクロバブルによる酸素富加が養液栽培したネギの生育と養分吸収に与える影響 中野明正・大木 浩・池部徹男・宇和川博・鈴木克己・高市益行49(2)
ミニレビュー	根域容量と養水分ストレスに対するキンギョソウ、ストックおよびキクの反応 後藤丹十郎105(3) 不耕起栽培における根の健康と土壌病害の発生生態 福井 糧133(4) アルファルファの生育と根系発達におよぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響 廣瀬大介141(4)
短 報	麦類を利用したビングマルチ栽培における大豆の根系分布 池永幸子・村上敏文・小林浩幸・山下伸夫・好野奈美子・内田智子15(1) イネ冠根欠損型突然変異体を用いた地上部-地下部成長関係の解析 西川浩人・尾崎祐朗・北野英己・犬飼義明113(3)
報 告	第30回根研究集会に参加して 牧田直樹55(2) 第30回根研究集会の風景から56(2) 第30回根研究集会発表要旨57(2) ISRRの歴史と第7回シンポジウム 森田茂紀117(3) 第48回ガンマーフィールドシンポジウムに参加して 服部一三120(3) 7th ISRR Symposium 'Root Research and Applications' (RootRAP)参加報告 二瓶直登149(4) 牧田直樹150(4) 福澤加里部152(4) 中野愛子153(4) 安達祐介154(4) 松本 晃156(4) 山本梨加157(4) 独立行政法人農業環境技術研究所 国際ワークショップ 「植物機能を利用した食品中重金属低減の開発」開催報告

	荒尾知人	158(4)
	「農業におけるメタゲノミクスの展望」開催報告	
	藤井 毅	159(4)
	第31回根研究集会に参加して	
	安彦友美・山内卓樹	161(4)
情 報	第31回根研究集会発表要旨	162(4)
	第30回根研究集会のお知らせ	21(1)
	Plant Root 編集委員会より	25(1)
	カレンダー	26(1)
	「苺住」海外渡航支援のご案内	27(1)
	根研究会賞の公募予告	28(1)
	第31回根研究集会開催案内	81(2)
	NIAES MARCO シンポジウム 2009 のお知らせ	83(2)
	カレンダー	84(2)
	「苺住」海外渡航支援のご案内	85(2)
	第31回根研究集会開催案内	121(3)
	カレンダー	124(3)
	「苺住」海外渡航支援のご案内	126(3)
	第32回根研究集会のお知らせ	203(4)
	カレンダー	207(4)
	「苺住」海外渡航支援のご案内	208(4)
	根の研究第18巻総目次	210(4)
告 知	「根の研究」および根研究会関連の講演・発表要旨の執筆者の皆様へ	
	著作権の一部委譲のお願い	38(2)
	2010—2011年度根研究会会長の選挙結果について	102(3)
	2009年度根研究会賞の決定について	103(3)
公 示	根研究会会則	29(1)
	名簿登録データ更新のお願い	33(1)
	2009 年度根研究会賞推薦受付中	87(2)
	Journal@rchive・J-Stage での公開開始について等	90(2)
会 告		91(2)

Root Research

根の研究

編集委員長	犬飼 義明	名古屋大学大学院生命農学研究科
副編集委員長	中野 明正	農研機構・野菜茶業研究所
編集委員	大段 秀記	農研機構・九州沖縄農業研究センター
	小川 敦史	秋田県立大学生物資源科学部
	鴨下 顕彦	東京大学アジア生物資源環境研究センター
	久保 堅司	農研機構・九州沖縄農業研究センター
	塩野 克宏	東京大学大学院農学生命科学研究科
	田島 亮介	北海道総合研究調査会
	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
	辻 博之	農研機構・北海道農業研究センター
	野口 亮太郎	独立行政法人森林総合研究所立地環境研究領域
	福澤 加里部	京都大学フィールド科学教育センター
	南 基泰	中部大学応用生物学部

事務局 阿部 淳 〒113-8657 文京区弥生
東京大学大学院 農学生命科学研究科 栽培学研究室内
Tel/Fax : 03-5841-5045
e-mail : neken2010@jsrr.jp

根研究会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>
「根の研究」オンライン版 <http://root.jsrr.jp/>

年会費 個人 3,000 円、団体 8,000 円

根の研究 第18巻 第4号	2009年12月22日印刷 2009年12月24日発行
発行人：唐原 一郎 〒930-8555 富山市五福 3190 富山大学大学院理工学研究部	
印刷所：株式会社 友人社 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 1-12-19 アイコービル 2F	

Root Research

Vol. 18 No. 4 (December 2009)

Mini review

Root health and ecology of soilborne diseases under conservation (no-till) farming systems

Ryo FUKUI 133

Effects of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen on growth and root system development in alfalfa

Daisuke HIROSE 141