

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2009

課題番号：19208023

研究課題名（和文） 作物の水利用効率の改善のための新規イメージング法を用いた蒸散と物質動態の基礎研究

研究課題名（英文） Water and material movement based on new imaging method for effective water utilization of crop samples.

研究代表者

中西 友子(NAKANISHI TOMOKO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：30124275

研究成果の概要（和文）：植物がどのように水および養分元素を吸収するかについて、放射性同位元素を利用して調べた。水動態については、半減期が僅か 2 分の酸素 15 で標識して植物に吸収させたところ、導管から多量の水が周辺組織に漏れだしました導管に戻るという水循環を証明することができた。養分元素についてもリアルタイムでどのように植物が吸収し体内を移行させるかを可視化解析できる装置を開発した。また乾燥耐性であるササゲを用い水保持機構について検討を行った。

研究成果の概要（英文）：Water and elemental uptake movement was analyzed using radioisotopes. In the case of water, using O-15 labeled water, which half-life is only 2 min., tremendous amount of water leakage and re-entry from xylem vessels was demonstrated. A new imaging system to analyze real-time movement of nutrient elements was developed. The water storage mechanism of a cowpea plant was studied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	24,200,000	7,260,000	31,460,000
2008 年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2009 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
年度			
年度			
総計	38,700,000	11,610,000	50,310,000

研究分野：農学研究

科研費の分科・細目：農業環境工学、農業情報工学

キーワード：水動態、物質動態、アイソトープイメージング、イメージング装置開発

1. 研究開始当初の背景

農業において水利用効率の向上を図るためには現場における植物の科学が必要である。しかし、植物がどのように水や養分元素を吸収しているのかという科学的な知見が少ない。そこで、放射性同位元素ならびに放

射線計測を基本とし、現場の農業に応用可能な水、養分元素吸収についての情報を提供したいと考えた。特にそれまで、中性子線を用いて植物中の水特異的なイメージングを行ってきたこともあり、まず、水そのものの動態について調べることにした。

2. 研究の目的

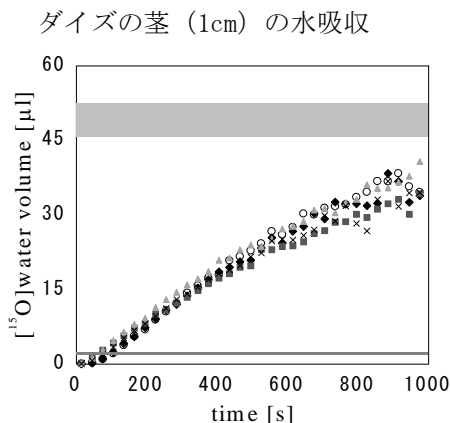
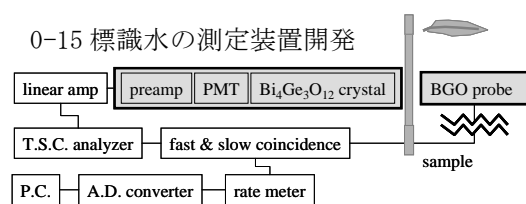
水および無機栄養成分の吸収・移行動態について、放射線計測を基盤に解析を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

水については、ポジトロン放出核種である、酸素-15 で標識した水を用い、正確な放射線計測装置を組み立ててその動態を調べた。養分元素については、イメージング装置を開発し、植物の吸収動態をリアルタイムで可視化を試みた。また乾燥耐性であるササゲについて水保持の機能を解析した。

4. 研究成果

作物中の水動態を調べるため、ポジトロン放出核種 ^{15}O を用いて、ダイズ中の水の動態を定量的に測定できる機器をセットアップした。 ^{15}O 標識水を用いた実験は半減期が短い(2分)、20分ほどしか測定できないが、同じ植物体を用いて同じ実験を繰り返すことが可能であるため、再現性のあるデータを取得することができた。ダイズ茎(最下部の茎)1cmあたりの水の吸収速度は約 $4\mu\text{l}/\text{秒}$ であり、測定部位が上部へと移動するに従い、茎に既に存在していた安定な ^{16}O 水により希釈されるため見かけの吸収速度は遅くなった。ダイズ下部の茎1cmは体積にして約 $50\mu\text{l}$ であるが、根から吸収された ^{15}O 水の量は15分ほどで $40\mu\text{l}$ ほどになり、新たに吸収された水が導管から漏出していることが明らかになった。そこで、この部分の茎の導管体積を測定したところ、約 $2\mu\text{l}$ であることから20倍の水が導管から漏れ出し周囲の水と混合してまた導管に戻っていることが判った。



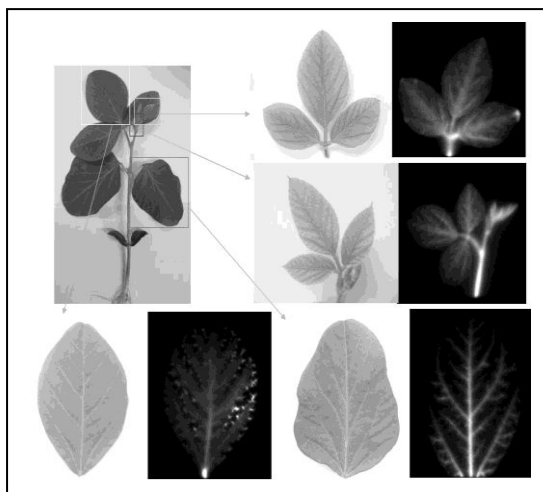
導管から漏出した水がどのようなルートを辿っているかについては、①茎表面からの蒸散、②篩管への流入(下部の水の移動)、③導管以外の組織による水の上部への移動、が考えられる。そこで①についてはワセリンを茎に塗布することによる水吸収動態測定、②は篩管削除をしたダイズを用いた水吸収測定を行なったところ、いずれもその可能性は極めて低いことが示された。また③は、導管以外の組織は細胞が詰まっているため、水移動の抵抗が高いことから可能性が低いことが考えられた。また茎断面の各組織の体積を顕微鏡下で測定したところ、 ^{15}O 水の吸収動態を維持するためには木部において導管内の流速と同等の流速が必要なことが判明した。そこで、導管から漏出した水のほとんどは再び導管に戻ることが示された。

また、 ^3H で標識したトリチウム水を根から吸収させ、茎における経時的な分布の変化についてイメージングプレートを用いて調べたところ、約10分で、導管から漏れ出した水が茎全体に広がることを示された。シミュレーションを行ったところ、茎に存在していた水は20分以内に新しく吸収された水と置き換わることが示された。放射線検出プローブを複数用いて測定をした結果、多量の水が導管から漏れ出てまた導管に戻るものの、導管内を動く水の速度は一定に保たれることが判った。

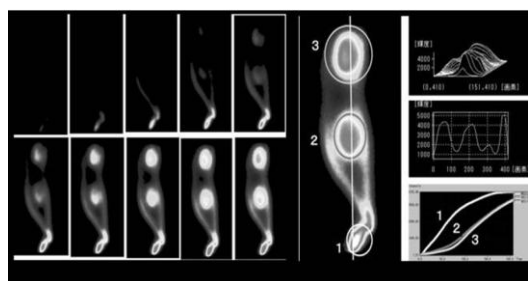
このように、植物体内の水循環を初めて定量的に示すことができた。

植物中の水保持機能を解析するため、アジア・アフリカの半乾燥地で重要な穀物として栽培されているササゲを用いて水動態について調べた。アフリカに自生する約2000種のササゲから選抜された乾燥耐性のササゲならびに乾燥感受性ササゲを用いて水利用効率の差を検討した。中性子ラジオグラフィにより、耐性種は茎における水分含有量が感受性品種よりも常に高く保持されていることが示された。そこで、葉における水分量を詳細に検討したところ、耐性種と感受性種において、乾燥ストレス下における若い葉と古い葉の水分含量の変化が大きく異なることが示された。ササゲにおける水分保持機構を調べるため ^3H 標識のトリチウム水を用いて詳細に調べた。その結果、乾燥耐性ササゲの水分保持能は気孔の早期閉鎖とは殆ど関係せず、葉の水分保持能、特に茎からの水分移動がより重要であることが示された。乾燥時でも高い水ポテンシャルを保持するササゲでは上位の葉ほど水分保持力が高く、葉の葉緑体含量が高いことが示されたが、アミノ酸合成や抗酸化活性の差は見られなかった。

水の動態と合わせて養分吸収についても調べるため、リアルタイムイメージング装置を開発した。



ダイズにおける ^{32}P -リン酸吸収



ダイズにおける ^{32}P -リン酸吸収についてのリアルタイム画像を得ることができるようになった(上図)。ミヤコグサを用いた場合には、幼植物期から種子形成過程までライフサイクル全体を通してイメージング解析を行うことができるようになった。播種後約2週間の植物体、花芽形成期、さや形成期で根と地上部の同時イメージングを試みた。水耕液に ^{32}P を約 $10\text{kBq}/\text{mol}$ で添加した後、根から与えた。その結果、通常栽培のサンプルとリン酸欠乏サンプルでは根への蓄積に差が見られたこと、花芽やさや形成時期には通常栽培サンプルではつぼみとさやへのみ積極的に移行することなどが示されたが、リン酸欠乏サンプルでは、つぼみやさや以外に葉への移行量も高かった。各組織における特異的なリンの集積動態について画像から解析することができたので、現在、リン酸動態に関連した各組織における、トランスポーターの種類とその活性との相関についての検討を始めたところである。

上述したように水の計測ならびに物質動態について放射線計測を元に可視化計測ができる見通しがついたところである。これらの技術開発を元にさらに、生きた植物の養分

や水吸収についての研究を進め、農業現場に応用ができる技術開発を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

Tanoi, K., Hamada, Y., Seyama, S., Saito, H., Iikura, H., Nakanishi, T.M. Dehydration process of fish analyzed by neutron beam imaging. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 605, 179-184 (2009) 査読有

Yamawaki, M., Kanno, S., Ishibashi, H., Noda, A., Hirose, A., Tanoi, K., Nakanishi, T.M. The development of real-time RI imaging system for plant under light environment. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 282(1) 275-279 (2009) 査読有

Nakanishi, T.M., Yamawaki, M., Kanno, S., Nihei, N., Masuda, S., Tanoi, K. Real-time imaging of ion uptake from root to above-ground part of the plant using conventional beta-ray emitters. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 282(1) 265-269 (2009) 査読有

Kanno, S., Tanoi, K., Nakanishi, T.M. Real-time imaging of ^{32}P translocation in soybean plants. Radioisotopes, 58(11) 743-747 (2009) 査読有

Rai, H., Kanno, S., Hayashi, Y., Ohya, T., Nihei, N., Nakanishi, T.M. Development of a Real-time Autoradiography System to Analyze the Movement of the Compounds Labeled with β -ray Emitting Nuclide in a Living Plant. Radioisotopes, 57(5), 287-294 (2008) 査読有

Rai, H., Kanno, S., Hayashi, Y., Nihei, N., Nakanishi, T.M. Development of a Fluorescent Microscope Combined with a Real-time Autoradiography System. Radioisotopes, 57(6), 355-360 (2008) 査読有

Ohya, T., Tanoi, K., Hamada, Y., Okabe, H., Rai, H., Hojo, J., Suzuki, K., Nakanishi, T.M. An Analysis of Long-Distance Water Transport in the Soybean Stem Using H_2^{15}O . Plant Cell Physiology vol. 49(5), 718-729 (2008) 査読有

[雑誌論文] (計 11 件)

[学会発表] (計 24 件)

T.M.Nakanishi, Real-time imaging of ion uptake from root to above-ground part of the plant using conventional beta-ray emitters. Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry, MARC VIII, April 6, Hawaii, USA, 2009 (招待講演)

T.M.Nakanishi, Application of radioisotope measurement for plant study: from activation analysis to radioisotope imaging. Asian Pacific

Symposium on Radioanalytical Chemistry, Dec. 3, Napa, USA, 2009 (招待講演)

T.M.Nakanishi, Development of Radioisotope Imaging Systems for Plants. Intl. Symposium of Imaging, Nov.10, Okazaki, Japan, 2008 (招待講演)

T.M.Nakanishi, Real-Time Imaging of Water and Elements in a Living Plant. Int. Symposium of Japanese Soc of Agricultural, Biological and Environmental Engineers and Scientists, Sakai, Japan, 2007(招待講演)

T.M.Nakanishi, Application of neutron activation analysis in plant research. Modern Trends in Activation Analysis, MTAA 12, Sep.5, Tokyo, 2007(招待講演)

[図書] (計1件)

中西友子、放射線を利用した植物の診断、ポジトロンイメージングの研究、中性子線の利用、放射性トレーサーの利用 In: 食品・農業分野の放射線利用、林徹編集 幸書房 (2008)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ整備

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中西 友子 (NAKANISHI TOMOKO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号: 30124275

(2) 研究分担者

田野井 慶太郎 (TANOI KEITARO)

東京大学・生物生産工学研究センター・助教
研究者番号: 90361576

山脇 正人 (YAMAWAKI MASATO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・特任助教

研究者番号: 30526471

(H. 21)

頼 泰樹 (RAI HIROKI)

秋田県立大学・生物資源科学部・助教
研究者番号: 30503099

(H. 20, 21)

飯山 賢治 (IIYAMA KENJI)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・理事長

研究者番号: 60012077

(H. 19→H. 20: 連携研究者)

鈴木 和年 (SUZUKI KAZUTOSI)

独立行政法人放射線医学総合研究所・上席研究員

研究者番号: 90162932

(H. 19→H. 20: 連携研究者)