

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21880018

研究課題名（和文） 植物研究におけるリアルタイムRIイメージング装置の開発

研究課題名（英文）

Development of real time RI imaging system for plant study

研究代表者

山脇 正人 (YAMAWAKI MASATO)

独立行政法人産業技術総合研究所・計測標準研究部門・研究員

研究者番号：30526471

研究成果の概要（和文）：

現在の農業現場では水や養分元素の供給に関する科学的な知見が乏しく、過剰な施肥が行われることがある。このため、環境中に肥料が流出し、近年では環境問題にも発展してきている。そこで最適な養分供給を検討することにより農業における生産性の向上、延いては環境保全を考えていくために、本研究課題では植物が養分を根から吸収しどの様に伝達するかを観察する、放射線同位元素を用いたイメージング装置の改良と計算評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

Because of the lack of scientific knowledge concerning the supply of water and nourishment elements to farm products, excessive fertilization might be done on the recent field of agriculture, and the problem of environmental pollution with the fertilizer has occurred in recent years. Therefore, first of all in the research, the imaging system using radioisotope was developed to observe the absorption and transmission of nourishment in a plant, and the best condition of nourishment supply was examined to contribute to the improvement of productivity in agriculture and the environmental preservation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,110,000	333,000	1,443,000
2010年度	1,010,000	303,000	1,313,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,120,000	636,000	2,756,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：農業環境工学、放射線計測、植物、ラジオアイソトープ、イメージング、イオン動態、シンチレータ

1. 研究開始当初の背景

東京大学農学部放射線植物生理学研究室は放射線同位元素トレーサーに用いた植物の養分吸収をイメージングするリアルタイムRIイメージングシステムを開発した。(図1)従来の放射線イメージング装置として用いられているIP(イメージングプレート)と比較して10倍以上の感度が得られ、短時間で撮像できるようになったことから、動

画データとしても得られるようになった。(図2)しかし、研究開発当初は植物研究の観点からシステムやその解析方法としての幾つかの課題が存在した。そこで本研究課題ではリアルタイムRIイメージング装置の改良と解析方法の提案を試み

(1) これまでシステムでは植物体に光を照射させることが難しかったため、例えば長時間の測定では植物体の活性が低下してしま

うという問題があった。そこで植物体に光を照射した状態で観察することが出来るシステムを開発することとした。

(2) 近年汚染米等の問題から、有害物質 Cd が注目されるようになったが、これまでのシステムでは主に β 線放出核種を元素イメージングの対象としており、Cd において本イメージング特性に良好な β 線放出核種が存在しなかった。そこで ^{109}Cd の X 線に注目し、そのイメージングのための検討を行った。

(3) 本イメージングにおいて動画としての観察と各部位における養分吸収の経時変化を得ることができるが、それらの植物研究的な解釈方法について確立出来ていなかった。そこで伝達関数を用いることによりで表現することにより、植物の養分吸収メカニズムを評価する為の一手法として提案することを試みた。

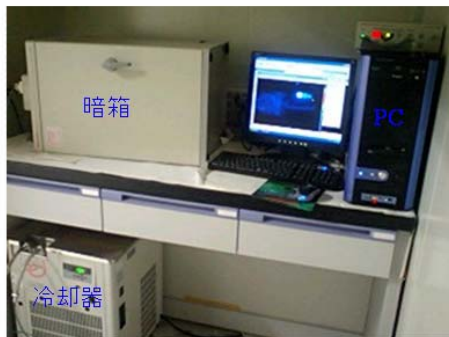
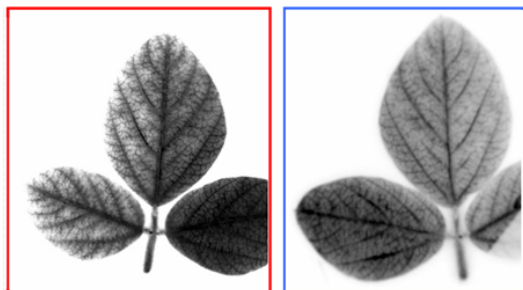


図1 リアルタイム RI イメージング装置



イメージングプレート(IP)像 リアルタイムRIイメージ
(暴露時間30min) (暴露時間10min)

図2 IP 像 (左) とリアルタイム RI イメージ (右) の比較

2. 研究の目的

植物の生育はこれを取り巻く環境に大きく左右される。植物が食物の材料であるならば、この環境は収穫量、即ち農業プラントの生産性を支配する要因であることになる。従って、植物に模擬的な環境を付与して、その発育状態を観察し、どのような環境作りがそれぞれの植物の生育に効果的なのかを定量的に評価できれば、農業における生産性の向上、延いては環境保全の問題に対して科学的

に取り組むことが可能になる。

そこで、植物の生育に係る様々な養分が植物中をどのように移動し蓄積されるか、などをリアルタイムで2次元的に観測・解析すべく、東大農学部放射線植物生理学研究室で開発された。

本研究では本イメージング装置において、植物研究的な観点でのシステムの課題やその解析方法等の検討を試み、

- (1) イメージングにおける植物環境の改良
- (2) ^{109}Cd を用いた Cd イメージング
- (3) 伝達関数を用いた養分吸収リズム評価に対して検討した。

3. 研究の方法

まず本リアルタイム RI イメージングシステムについて説明する。

本システムのイメージング原理は、まずベータ線をシンチレータという光学結晶により可視光レベルの多数の光子に変換し、次にそのシンチレーション光を MCP (マイクロチャンネルプレート) という光電子増倍機能を持つ基盤に増幅して投影する。そしてその投影面を CCD カメラにより撮影するという原理になっている。(図3)

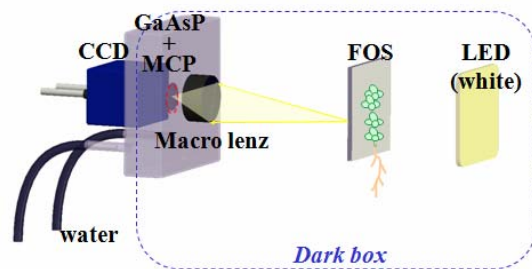


図3 本システムのイメージング原理

ここで本検出方法の特徴はベータ線をシンチレータにより検出するところにある。シンチレータはガラス等の基板に蒸着されており、その膜厚は $100\mu\text{m}$ 程度である。

この RI (ラジオアイソトープ) 分布イメージの撮像は、例えば 180 秒の間に CCD カメラに入るすべての信号が積算され、一枚のイメージが作成される。そのようなイメージを連続的に撮影することにより、植物の根から RI が吸収され茎を経て枝葉に輸送される様子が動画として観察する事ができ、また、定量的な RI 強度の経時変化解析も出来る。

次に本研究課題で行った改良を行うための研究方法について説明する。

- (1) イメージングにおける植物環境の改良
シンチレーション光は非常に微弱な為、シグナルを増幅する必要があるため、光を完全に遮断した暗箱中で測定する必要がある。よって以前までのシステムでは植物体に光を

照射させることが難しかったため、例えば長時間の測定では植物体の活性が低下してしまうという問題があった。そこで植物体に光を照射する為のサンプル収納箱を作製した。このサンプル収納箱では100個のLEDにより植物体に光を照射させることが出来る。また、サンプル収納箱は完全密閉状態である為、数日レベルの長期的な測定を行えるように、サンプル収納箱をエアポンプで外気と循環出来るように改良した。(図4)

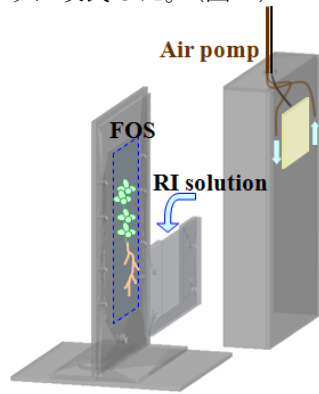


図4 光環境下測定用サンプル収納箱

ここで、ベータ線を検出するシンチレータはLED光を透過してしまう為、この光を完全に遮断する必要がある。そこでシンチレータ前面をアルミニウム板で覆うことにより、光を遮断し、且つベータ線は透過させる条件を検討した。(図5)

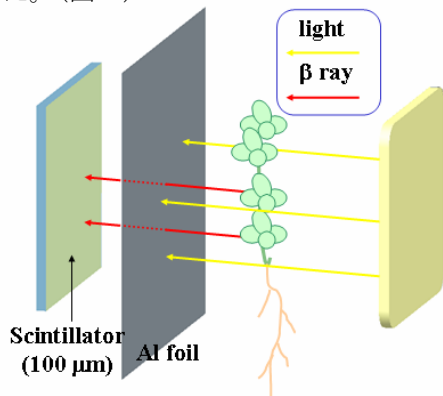


図5 Al板によるLED光の遮蔽とRIの透過

(2) ^{109}Cd を用いた Cd イメージング

^{109}Cd は 22keV と 88keV の特性 X 線を放出するため、これら X 線検出に最適なシンチレータ厚を検討した。10 μm から 200 μm 厚に CsI(Tl) を蒸着した基盤を準備し、 ^{109}Cd スポット線源を用いてシンチレータの厚さによる感度及び解像度の評価を行った。また、モンテカルロシミュレーションにより検出感度評価を行った。またシミュレーションにより感度と解像度の最適条件を検討した。

(3) 伝達関数を用いた養分吸収リズム評価

各部位における養分吸収過程を昼と夜の変化を伝達関数により再現し、各部位における伝達パラメータの抽出を行った。

4. 研究成果

(1) イメージングにおける植物環境の改良
植物体に光を照射した状態で観察することが出来るシステムを開発する為、サンプル収納箱を作成し、 β 線を検出シンチレータに 50 μm 厚のアルミニウム板で斜光することにより良好なイメージングをすることが可能になった。ナタネにおいて実験したところ、測定 6 日後でも植物体の活性が保たれていた。この成果は Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry に掲載された。

また、 ^{32}P を用い、各部位における昼と夜の養分吸収の変化を観察したところ、リンの蓄積速度において地上部と地下部では傾向が異なり、逆の相関が観察された。(図6)

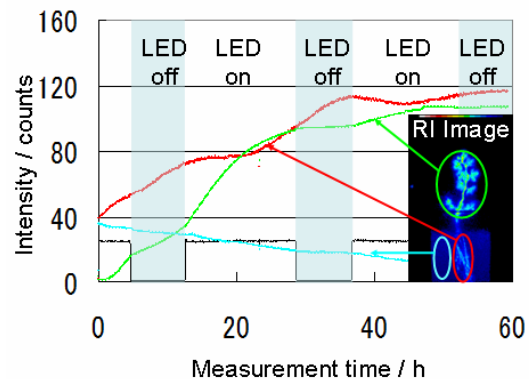


図6 ミヤコグサの ^{32}P 吸収経時変化

また、改良前では数日間の測定において湿度が高くなり、結露する問題があったが、サンプル収納箱をエアポンプで外気と循環出来るように改良したところ、湿度を外気と同じに保つことができ、より良好な環境を再現でき像の鮮明さも改善した。(図7)

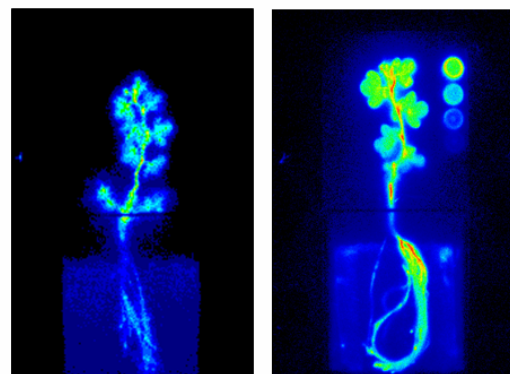


図7 エアポンプ無し (左) とエアポンプ有り (右) での像の比較

今後の研究展開としてはペルチェ素子等による温度制御を行い、より過酷な環境での観察等を行える様に改良する。

(2) ^{109}Cd を用いた Cd イメージング

近年汚染米等の問題で、有害物質 Cd が注目されている。そこで Cd のイメージングを行うために ^{109}Cd を用い、その X 線検出評価(図 8)を行ったところ、CsI(Tl)シンチレータが $100\ \mu\text{m}$ 厚でも十分に検出できることが分かった。

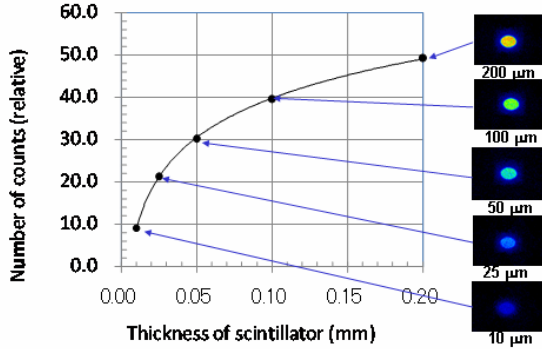


図 8 シンチレータ厚と ^{109}Cd 検出感度の関係

また、 ^{109}Cd を吸収させた米のイメージングにも成功した。(図 9)

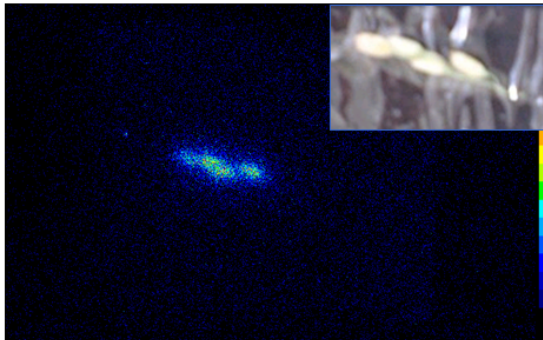


図 9 ^{109}Cd を吸収させた米のイメージ

また、シミュレーションにより ^{109}Cd の X 線感度特性を評価したところ、88keV ではなく、ほとんどが 22keV の X 線の検出(図 10)であったことが分かった。

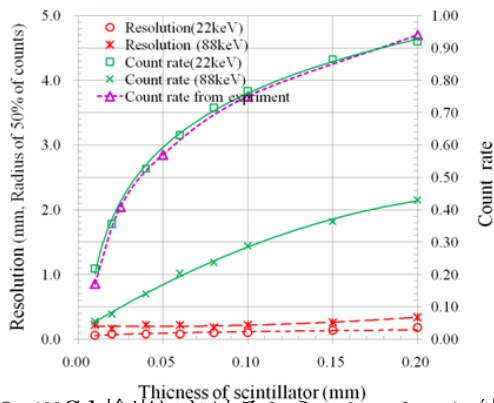


図 10 ^{109}Cd 検出におけるシミュレーション結果

今後の展開としては、 ^{109}Cd における感度や解像度の更なる向上を検討する。また、他の核種イメージングへも応用し、例えば近年原発事故で話題となっているヨウ素等における植物の養分吸収・蓄積等についても評価する。

(3) 伝達関数を用いた養分吸収リズム評価

各部位の養分蓄積における昼と夜の変化を伝達関数により再現し、各部位の伝達パラメータ解析を行った。光環境下におけるイメージング測定において水耕液中のリンの根から吸収され地上部へ伝達される過程で、地上部と地下部で吸収過程が昼と夜で異なる現象を伝達関数で表現し(図 11)、植物の養分吸収メカニズムを評価する為の一手法として提案した。植物の養分伝達メカニズムを、伝達関数を用いて電子回路的なモデルとして捉えることにより、より詳細な解釈が出来るようになると思われる。この成果は Radiochimica ACTA に投稿し、アクセプトされた。

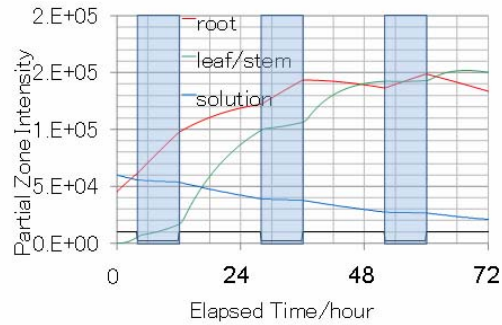


図 11 ミヤコグサの ^{32}P 吸収経時変化のシミュレーション

今後の展開としては、それぞれのパラメータが植物のどの細胞機能に対応しているかを確認し、トランスポーターの研究等のマクロ的なアプローチとして関連付けたい。

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)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

① M. Yamawaki, S. Kanno, H. Ishibashi, A. Noda, A. Hirose, K. Tanoi, T. M. Nakanishi, A STUDY OF ^{32}P -PHOSPHATE UPTAKE IN A PLANT BY A REAL-TIME RI IMAGING SYSTEM, Radiochimica Acta, 査読有, accepted

② Masato Yamawaki, Atsushi Hirose, Satomi kanno, Hiroki Ishibashi, Akihiko Noda, Keitaro Tanoi, Tomoko Nakanishi, "Evaluation of ^{109}Cd Detection Performance of a Real-Time RI Imaging System for Plant

Research” RADIOISOTOPES, 査読有, 59, 2010, 155-162

③M. Yamawaki, S. Kanno, H. Ishibashi, A. Noda, A. Hirose, K. Tanoi, T. M. Nakanishi, “The development of real-time RI imaging system for plant under light environment”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 査読有, Vol. 282, 2009, 275-279

〔学会発表〕(計 16 件)

①Masato Yamawaki, Satomi Kanno, Hiroki Ishibashi, Akihiko Noda, Atsushi Hirose, Keitaro Tanoi, Tomoko Nakanishi, ” A Study of Nutrient Absorption in a Plant using a Real-Time RI Imaging”, 3rd Joint International Symposium on Nuclear Science and Technology, 2010.1.4-6, Shanghai Jiao Tong University(China)

②Masato Yamawaki, Satomi Kanno, Hiroki Ishibashi, Akihiko Noda, Atsushi Hirose, Keitaro Tanoi, Tomoko Nakanishi ” A Study of³²P-Phosphate Uptake in a Plant Using a Real-Time RI Imaging System”, 4th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry ’ 09, 2009. 11. 30, California(USA)

③Masato Yamawaki, Satomi Kanno, Hiroki Ishibashi, Akihiko Noda, Atsushi Hirose, Keitaro Tanoi, Tomoko Nakanishi, ” Real-Time RI Imaging System for Plant under Light Environment”, Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry VIII, 2009. 4. 9, Hawaii(USA)

〔その他〕

RADIOISOTOPES 誌論文奨励賞(2010. 7)
サイエンスチャンネルにて研究紹介

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山脇正人 (YAMAWAKI MASATO)
産業技術総合研究所・計測標準研究部門・
研究員
研究者番号：30526471