

論文

中性子で放射化した植物試料のオートラジオグラフィ

小山元子* 前野智和** 谷崎良之*

Autoradiography of neutron activated plant samples using Imaging Plate

Motoko KOYAMA, Tomokazu MAENO and Yoshiyuki TANIZAKI

Abstract Autoradiography is a convenient and qualitative method to study two-dimensional distribution of radioisotopes in various materials. Imaging Plate (IP), which is a new radiography apparatus of applying a photostimulable luminescence, has some advantages in comparison with X-ray film, for example, high sensitivity, wide latitude and high fidelity for any radiations. The high sensitivity of IP makes it possible to observe the distribution of short-lived nuclides, such as ^{28}Al , ^{56}Mn .

The intensity of autoradiograms for neutron irradiated Al- and Mn-standard samples decreased according to ^{28}Al and ^{56}Mn half-lives, respectively. It was proportional to the contents of Al- and Mn-standard. More autoradiograms of Al- and Mn-treated cuttings from plants were obtained in high intensive imaging than those of the water-treated cuttings. This showed that Al and Mn were taken in by the plant bodies from solutions. High intensive imaging was recognized in the leaf vein and epicotyls. This indicates that Mn tends to accumulate in the vascular system. The imaging of the apices region for all samples showed high intensities. It seems that high elemental concentrations exist in shoot apices.

The autoradiographic intensities corresponded to the measurement results by γ -ray spectrometry.

Keywords Autoradiography, Neutron activated analysis, Imaging Plate, ^{28}Al , ^{56}Mn , Azuki bean

1. はじめに

イメージングプレート (IP) は、医療用 X 線透過検査において X 線フィルムに代わるものとして1993年に発表された。IP は、X 線フィルムの数百倍という放射線に対する高い感度、広いラティテュード、放射線に対する良好な応答性 (放射線量に対する画像強度は直線性を持つ)、画像がデジタル情報でありコンピュータでの画像処理が行いやすいといった優れた特性を持っている。これらの IP の特性、利点を生かす利用技術の開発は、オートラジオグラフィ、非破壊検査、安全管理などの広範な分野で進められている¹⁾。また、中性子放射化分析法は、多元素同時分析が可能なすぐれた分析方法であり、様々な元素分析の報告がなされている。しかし、この分析法では、試料中における元素の二次元分布状態などの形態的な情報を示すことはできない。

IP の特性を利用し、X 線フィルムでは従来不可能であった、中性子放射化により生成する短寿命核種の 2 次元分布をオートラジオグラフィで調べることを試み、植物体における微量元素のイメージ化が可能であるかを検討した。

2. 方 法

2.1 材 料

材料には、アズキ (*Vigna angularis*(Willd.) Ohwi & Ohashi, 宝早生) の芽生えを用いた。アズキ種子をバミキュライトに播種し、明所27 で7日間生育させ、植物長約13cm の芽生えを得た。この芽生え全体をバミキュライトから採取し、上胚軸の第一葉基部の下2.5cm に墨で印を付け、5mM の $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 及び $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液にさし、明所27 でさらに生育させた。1, 3, 5, 8 日目に、上胚軸につけた印から上を切り取り、熱固定後乾燥させ押し葉試料とした。

また、ろ紙に $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液の一定量をしみこませたものを IP 用の標準試料として用いた。

2.2 オートラジオグラフィ

これらの試料を、京都大学原子炉実験所原子炉圧気輸送管 PN 3 施設 (熱中性子束 2.3×10^{13} n/cm²·sec) で30秒間中性子照射した。照射後、試料をマイラー膜にはさみ、一定の時間ごとに IP (富士写真フィルム社, SR-20 25) に密着させて30秒間露光した。露光した IP はイメージングアナライザ (富士写真フィルム社, BAS-5000 MAC) で読み取り、放射能分布画像を得た。得られた画像から、上胚軸、第一葉、頂芽部分の PSL 値 (IP に入射した放射線量を示す相対的な IP の画像強度) を求

* 精密分析技術グループ

** 表面技術グループ

めた。

2.3 放射化分析

IP用の試料と同様に生育させたアズキ芽生えより、上胚軸、第一葉、頂芽をそれぞれ5個体分採取し、80で2日間乾燥させた。重量測定後、清浄なポリエチレンに封入し試料とした。前記照射施設で中性子照射し、ただちに100秒間ガンマ線計測を行い短半減期核種を定量した。

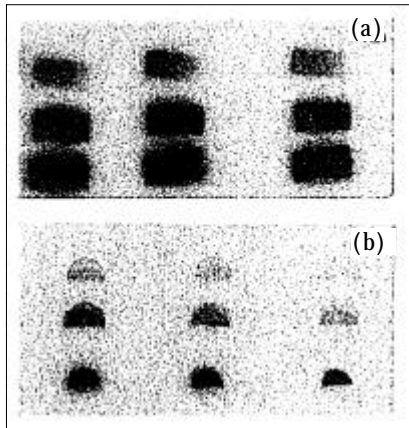


図1 標準試料のオートラジオグラフィ

- a) Al (露出: 左から照射後7分28秒, 10分, 12分28秒)
- b) Mn (露出: 左から照射後10分51秒, 2時間29分, 5時間33分38秒)

3. 結 果

3.1 標準試料のオートラジオグラフィ

IPにより、中性子放射化試料のオートラジオグラフィが、どの程度定量性を持って行えるかどうか標準試料を用いて確認した。中性子照射後、一定時間毎にIPに露光した像では、照射後の時間経過にしたがって像の強度は低下した(図1)。この像について、それぞれのスポットのPSL値を求めると、Al標準試料では約2.3分、Mn標準試料では約2.6時間で半減した(図2)。この半減時間は、照射後生成する核種である²⁸Al、⁵⁶Mnの半減期(それぞれ2.24分、2.58時間)にほぼ等しい。また、このPSL値とAl、Mn量はきわめてよい直線性を示した(図3)。これらは、中性子照射によって生じた核種のオートラジオグラフィが定量性をもって行える可能性を示した。

3.2 アズキ芽生えの生長

アズキ芽生えの生長にAl(NO₃)₃、Mn(NO₃)₂溶液がどの程度影響するのかを、上胚軸の伸長及び乾燥重量により調べた(図4)。上胚軸は、通常、頂芽から1cm程度下の部分で特に伸長生長する。Mn(NO₃)₂溶液で育てた芽生えの上胚軸は、盛んに伸長する部分で特に阻害された。Al(NO₃)₃溶液で育てたものでは、伸長についてほとんど水と違いはなかった。

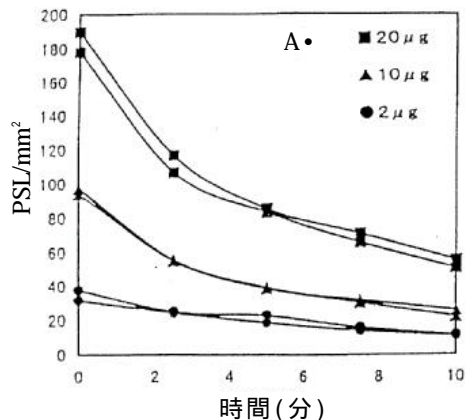
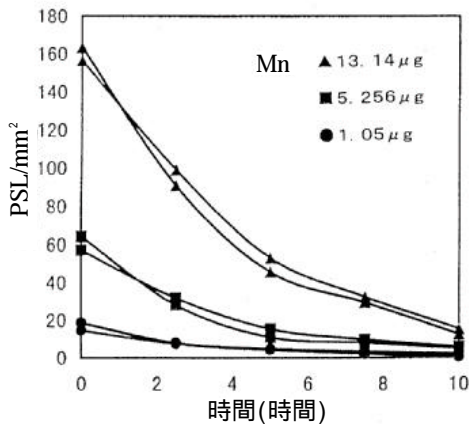


図2 標準試料のPSL値の減衰

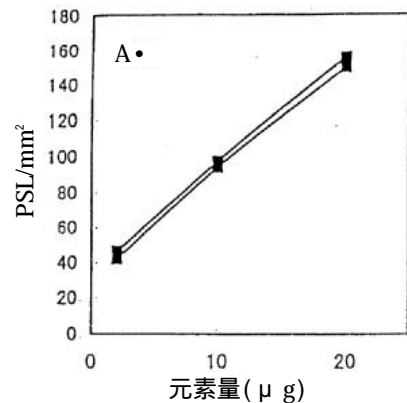
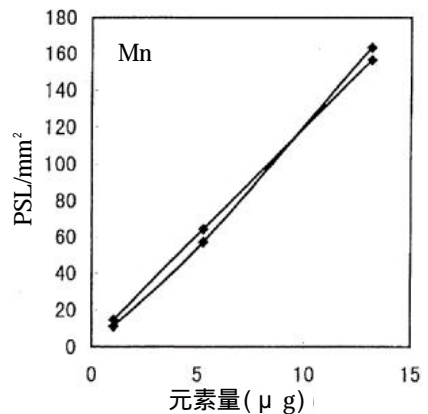


図3 標準試料の元素量とPSL値

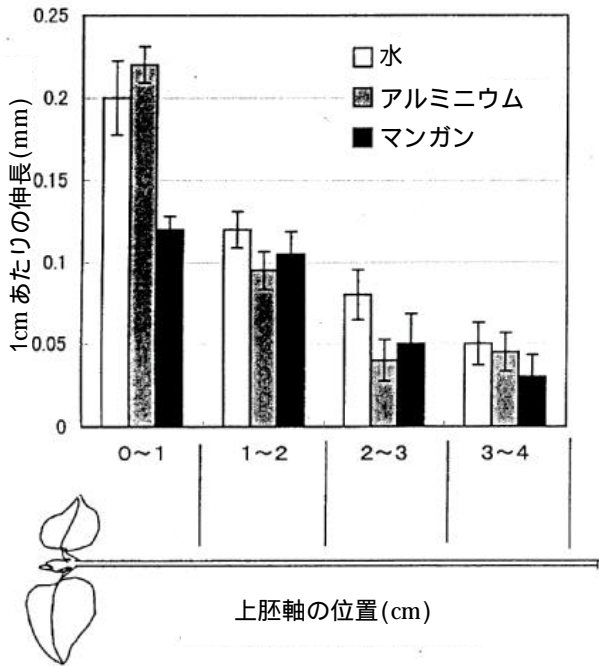


図4 アズキ上胚軸の伸長生長における Al, Mn の影響

さらに、播種後7日目に第一葉基部から2.5cm下に印をつけ、一定時間後にその印から切り取り、上胚軸、第一葉、頂芽の重量を比較した(図5)。頂芽、上胚軸、第一葉のいずれも、Mn(NO₃)₂溶液で育てた場合、重量の増加が阻害された。また、Al(NO₃)₃溶液で育てたものでは、頂芽と第一葉は重量増加が阻害されたが、上胚軸の重量変化には水との差は見られなかった。これは、伸長生長の結果とよく一致した。

3.3 アズキ芽生えの放射化オートラジオグラフィ

Al(NO₃)₃及び Mn(NO₃)₂溶液に5日間インキュベートしたアズキ芽生えの切り枝に中性子を照射したのち、一定時間ごとにIPに密着して露光した(図6)。照射後の時間経過にしたがって画像の強度は小さくなり、生成し

た核種の減衰を示した。Al(NO₃)₃, Mn(NO₃)₂溶液で育てたアズキ芽生えは、水で育てた芽生えの画像より強度が大きく、Al, Mnが取り込まれていることが推測された。Al(NO₃)₃, Mn(NO₃)₂溶液での生育時間が長いほど画像強度は大きく、植物体に取り込まれたAl, Mnが蓄積していると考えられた。また、すべてのアズキ切り枝で、頂芽(第二葉を含む)が大きな強度を示し、含まれている元素の濃度が高いことが推測された。それぞれの像を比較すると、Mnを取り込ませたものでは第一葉の葉脈が明確に認められるのに対し、Alでは第一葉全体が露光した。上胚軸の像の強度は、Mnを取り込ませたものが最も強く、Alでは水処理とほぼ同様の強度であった。Mnが導管組織に多く存在していることを示し、上胚軸の伸長生長及び乾燥重量の増加の阻害に関与していることが考えられる。

Al(NO₃)₃及び Mn(NO₃)₂溶液での生育期間と植物体の頂芽、上胚軸、第一葉のPSL値(図7)から、取り込まれたAl, Mnは植物体に蓄積することがわかった。Alは頂芽、第一葉に蓄積され、Mnは植物体全体に蓄積されるが、特に頂芽と上胚軸に著しく蓄積することがわかった。このことは、Alにより頂芽と第一葉の生長阻害が、Mnにより上胚軸の伸長阻害や植物体全体の生長阻害が生じたことを裏付けている。

以上の結果は、ガンマ線スペクトロメトリによる測定結果と良く一致していた(この一部は別に発表した)²⁾。しかしながら、IPにおけるエネルギー弁別の方法については、様々な試みが報告されつつあるが、確立した方法はない³⁾。したがって、線スペクトロメトリと同様の詳細な核種の分布を論ずることは現在のところできない。今後、放射化試料のオートラジオグラフィについて、弁別の方法の応用の可能性を検討していきたい。

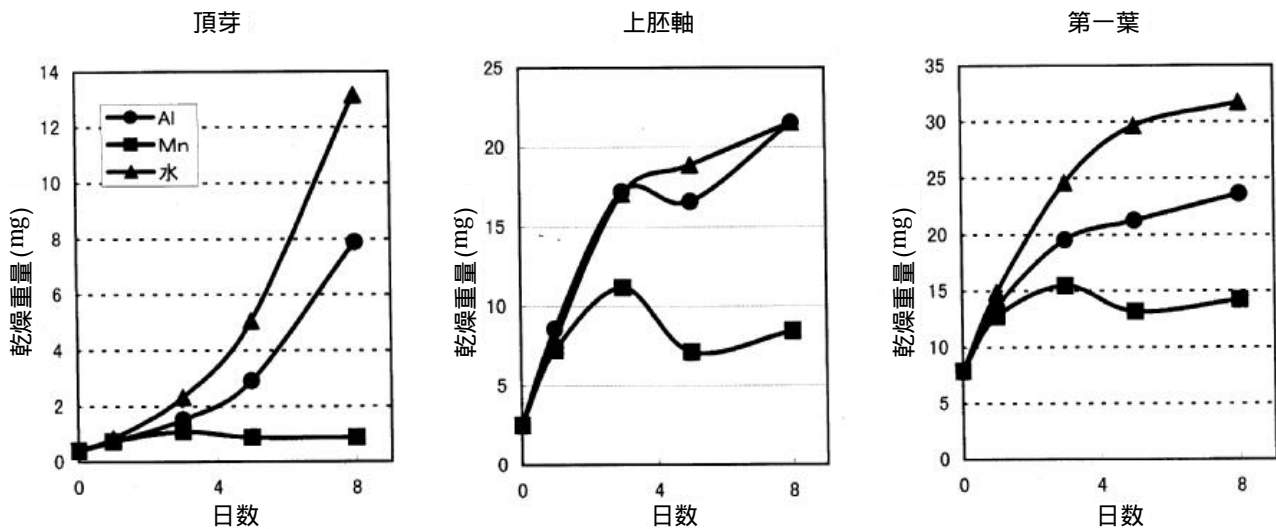


図5 頂芽・上胚軸・第一葉の乾燥重量の変化

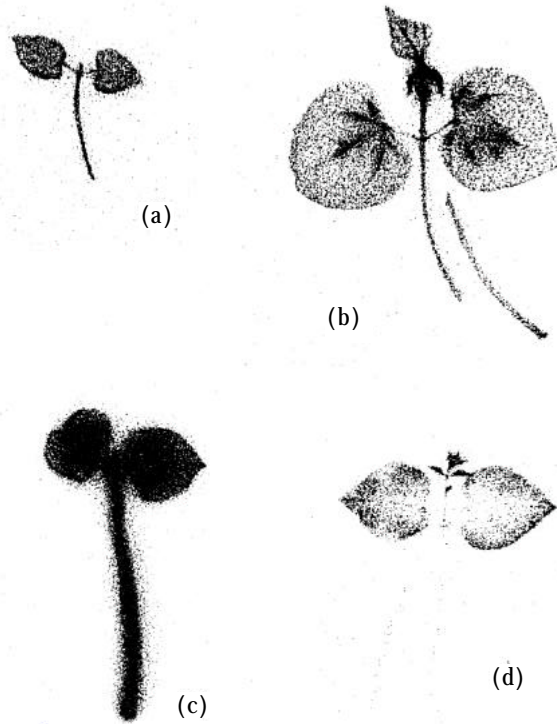


図6 アズキ芽生えの放射化オートラジオグラフィ

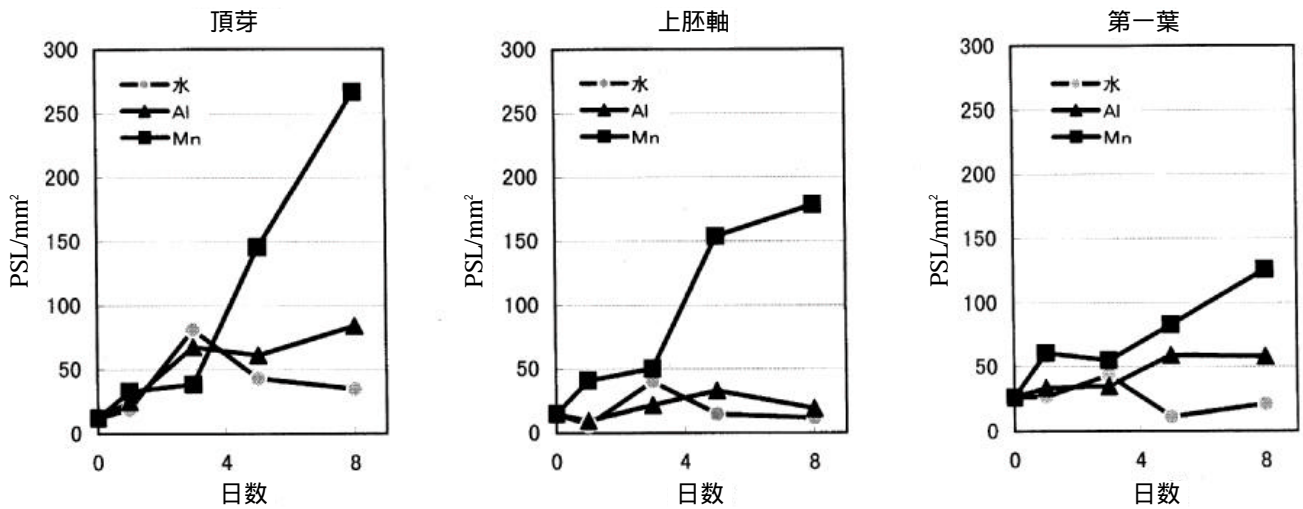


図7 頂芽・上胚軸・第一葉のPSL値の変化

4. ま と め

中性子で放射化したアズキ芽生えのIPによるオートラジオグラフィを行い、下記のような知見を得た。

- 1) IPにより、中性子放射試料での短半減期核種のオートラジオグラフィが可能なのことがわかった。
- 2) IPによる画像及びガンマ線スペクトロメトリーにより、アズキ芽生え切り枝に取り込まれたAl, Mnは、主に第一葉、頂芽に蓄積することがわかった。
- 3) Alは、特に葉に蓄積し、Mnは葉より頂芽と上胚軸に多く蓄積することがわかった。
- 4) 植物の生長阻害とAl, Mnの取り込み・蓄積に関連があることが推測された。

この研究は、京都大学原子炉実験所共同利用によって行った。お世話になった京都大学原子炉実験所高田実弥先生をはじめ、関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 宮原諒二：第34回理工学における同位元素研究発表会要旨集，日本アイソトープ協会，308-314(1997)。
- 2) 小山元子，前野智和，谷崎良之：京都大学原子炉実験所第33回学術講演会報文集，153-158(1999)。
- 3) 阿部健：日本アイソトープ・放射線総合会議論文集，566-577(1998)。

(原稿受付 平成11年8月13日)