

[H30-3]

マメ科植物における複数金属元素蓄積機構の解明 Identification of Multi-element Accumulation Mechanisms in Legume

古川純^{#,A,B)}, 鈴木伸郎^{○)}, 尹永根^{○)}, 栗田圭輔^{○)}, 江夏昌志^{○)},
山田尚人^{○)}, 山縣諒平^{○)}, 河地有木^{○)}, 佐藤隆博^{○)}
Jun Furukawa^{#,A,B)}, Nobuo Suzui^{○)}, Yong-Gen Yin^{○)}, Keisuke Kurita^{○)}, Masashi Koka^{○)},
Naoto Yamada^{○)}, Ryohei Yamagata^{○)}, Naoki Kawachi^{○)}, Takahiro Satoh^{○)}

^{A)} Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

^{B)} Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

^{○)} Takasaki Advanced Radiation Research Institute,
National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

Abstract

In the comparison of two cultivars of *Lotus japonicus*, MG-20 and B-129, it was suggested that B-129 had a low activity of iron translocation from root to shoot. To clarify the difference of iron transport mechanism, atmospheric Micro-PIXE analysis was carried out using their root tissues. The iron accumulation was well observed around the vascular bundle tissue in B-129 root. The vascular specific localization patterns suggested the iron transport was suppressed at the step of xylem loading of iron. To confirm the effect of this deficit of Fe homeostasis on the multi-element accumulation observed in B-129, Zn behavior was investigated using PETIS system. The plants treated with high or low Fe concentrations for 3 weeks were subjected to PETIS measurements. In our previous experiments using four-days-treated samples, low Fe sample showed high Zn uptake and high Fe treatment induced the suppression of Zn uptake in B-129. However, high Fe concentration treatment for 3 weeks showed active Zn translocation from root to shoot in B-129. These results suggest Fe condition in the plant body regulates Zn uptake and translocation activities in *Lotus japonicus*, especially in B-129. For identifying responsible mechanisms in these different Zn behaviors, gene expression analysis involved in Zn uptake and translocation are under investigation.

Keyword: *Lotus japonicus*, Micro-PIXE, PETIS, iron homeostasis, zinc behavior

1. はじめに

植物の生育に必要な必須元素には、窒素、リン、カリウムのように多量に必要とされる養分に加えて、ホウ素、カルシウム、マンガン、鉄、亜鉛などといった微量要求性の栄養素が必要である。これら微量元素の生理的な役割を明らかにするためには、植物の根や葉といった組織ごとの蓄積量のみならず、その組織内における詳細な局在部位を知ることが重要である。特に栄養環境に応答した元素局在の変化は、元素の欠乏や過剰といった現象が植物体のどのような組織・部位で問題となっているのかを解明する上で非常に重要な知見となる。放射線を利用した元素イメージング手法である大気 Micro-PIXE (Particle Induced X-ray Emission) 法は、複数元素の同時定量が可能であり、かつミクロンレベルでの高解像度な元素分布像が得られることから、これらの情報を取得するために極めて有効な手法である^[1, 2, 3]。

また、栄養元素の欠乏や過剰といった現象が引き起こす植物の代表的な応答反応として、根圏における元素吸収過程、あるいは根から各組織への輸送機構の活性化や抑制といった元素動態の変化が挙げられる。そこで、本研究課題では植物体における元素動態の解析手法としてこれまでに数多くの実績を有する PETIS (Positron Emitting Tracer Imaging System) 法^[3, 4]による実験も組み合わせることをとした。本課題ではマメ科のモデル植物であるミヤコグサが有

している複数の金属元素に対する蓄積能の系統間差に着目し、Micro-PIXE 法による鉄の局在解析と PETIS 法による亜鉛の動態解析を行ったのでそれらの成果について報告する。

2. 実験手法

実験にはマメ科のモデル植物であるミヤコグサ (*Lotus japonicus*) を用いた。複数金属の蓄積能に差が認められる Gifu B-129 系統 (以下 B-129) と Miyakojima MG-20 系統 (同 MG-20) の 2 系統を播種し、発芽後 4 週間 1/10 Hoagland's 培地を基本組成とする水耕栽培を行った。水耕液は 2、3 日ごとに交換し、水耕液中の栄養塩の濃度変化が植物に与える影響を最小限にとどめた。我々はこれまでの研究から、ミヤコグサを同条件で栽培した場合、B-129 の地上部・根においてナトリウム、マンガン、ニッケル、銅、亜鉛の濃度が MG-20 よりも高く、また鉄においては B-129 の根で濃度が高いにも関わらず、地上部では MG-20 の方が高濃度であることを明らかにしている。Micro-PIXE 用のサンプルとして、各個体の根から中間部をサンプリングし、新鮮な状態で凍結切片作成用のコンパウンドに浸潤・包埋した。サンプルが崩壊しないよう緩やかに凍結した後、クライオミクロトームにより 20 - 100 μm 厚の輪切り切片を作製した。それぞれの切片をポリカーボネートフィルム上に設置し、3 MeV の H⁺ビームを照射して、対

#furukawa.jun.fn@u.tsukuba.ac.jp

[H30-3]

象元素から放出される特性 X 線を測定した。PETIS による亜鉛動態の解析には、水耕開始 1 週間後から鉄栄養条件を栽培水溶液の 1/10、あるいは 10 倍に変化させて 3 週間処理した植物体（合計で総栽培期間が 4 週間となるようにしたもの）を準備し、亜鉛 (^{65}Zn) の吸収とその後の輸送について 48 時間の測定を行った。

3. 結果と考察

ミヤコグサの地上部と根の元素濃度を ICP-AES を用いて測定した先行研究により、B-129 は MG-20 よりも根における鉄濃度が高く、地上部においては逆に MG-20 の鉄濃度が高くなっていることから、これらの系統では水耕液から吸収した鉄を、根から地上部へ輸送するための鉄輸送活性に系統間差があることが示唆されている。それぞれの系統の根においてどのような部位に鉄が蓄積しているかを明らかにするために大気 Micro-PIXE 法による鉄の局在解析を行ったところ、特に B-129 の根において維管束周辺に鉄が蓄積していることが示され、特に切片が厚いサンプルにおいてその傾向が顕著であった。このことから、B-129 では根の維管束周辺の細胞から導管内へと鉄を輸送する活性に MG-20 との差があることで、鉄の地上部への輸送過程が抑制されていることが示唆された。

双子葉植物のモデル植物であるシロイヌナズナでは、地上部への鉄輸送活性が抑制された変異体において、鉄以外の複数の金属元素の吸収量が増加することが報告されている^[5,6]。地上部の鉄欠乏が根において鉄の吸収機構を活性化させ、その副次的な効果として鉄以外の元素についても吸収量が増加したものと考えられている。我々はミヤコグサにおける複数元素の高蓄積も同様の機構によるものであると予想し、鉄栄養条件を変化させたミヤコグサを用いて PETIS 法による亜鉛の動態解析を行った。

昨年度の研究結果から、4 日間の鉄条件の変化では B-129 の根における鉄欠乏による亜鉛の吸収促進と、鉄過剰による亜鉛の吸収抑制が観察された。これは短期的な鉄栄養環境の変化に対応して、IRT1 のような鉄と亜鉛の双方に輸送活性を持つとされる遺伝子の発現が変化したためと考えられ、現在その検証を進めている。また地上部における亜鉛の挙動に大きな変化はなく、根から地上部への亜鉛輸送には短期的な鉄環境の影響は少ないことが示された。

同様に鉄欠乏ならびに鉄過剰の条件で 3 週間継続して栽培した植物体を用いた解析を実施したところ、B-129 の鉄過剰サンプルにおいてのみ対照区との明瞭な差異が認められ、亜鉛の地上部への輸送促進が生じた (Figure 1)。この亜鉛の挙動は鉄過剰を 4 日間処理したサンプルの結果とは大きく異なるものであり、鉄過剰による鉄の吸収抑制が同時に亜鉛の吸収抑制と植物体全体での亜鉛欠乏を引き起こし、亜鉛の積極的な地上部組織への輸送が必要になったためであると考えられる。根の表層における鉄と亜鉛の取り込みには先の IRT1 が関与しているとされるが、根における亜鉛の導管への積み込みは HMA4 と

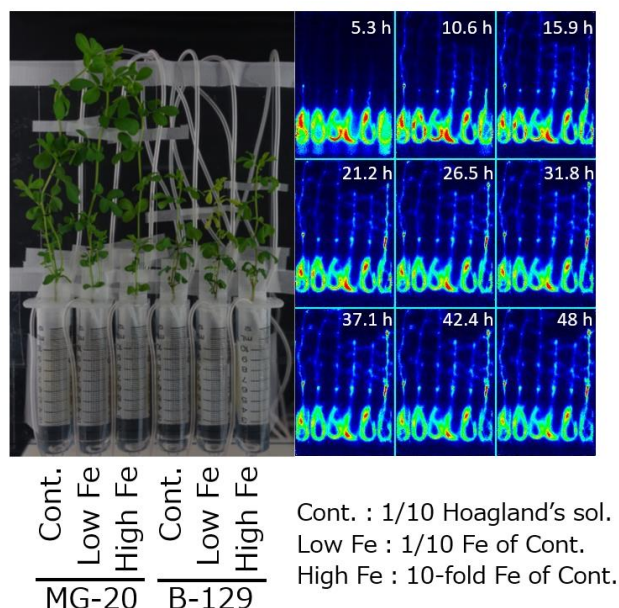


Figure 1. Real-time ^{65}Zn localization images obtained by PETIS. Six plants and solution containers are observed in each frame and the samples are MG-20s (Control, 1/10 Fe, 10×Fe) to B-129s (Control, 1/10 Fe, 10×Fe) from left to right. Each plant was treated with indicated solution for 3 weeks before the PETIS measurement.

いう亜鉛の輸送体が担っているとされることから、こちらも現在その発現解析を進めている。また、地上部へ輸送された亜鉛は節や、特に鉄過剰サンプルでは生長点である茎頂分裂組織の存在する先端部に蓄積されていることから、これらの部位の亜鉛要求性が高まっているものと考えられ、Micro-PIXE 法による鉄及び亜鉛局在を解析するための有力な部位と考えている。

4. まとめ

本実験は鉄条件のみが変更された実験設定であり、栽培環境としては変更されていない亜鉛の吸収や体内輸送が大きく変化したことから、シロイヌナズナ同様にミヤコグサの複数元素集積機構にも鉄の恒常性が関与している可能性が示された。また MG-20 では亜鉛の挙動に大きな変化が認められなかったことから、この機構は MG-20 よりも B-129 において活発に制御されているものと考えられ、水耕液の鉄条件の変化がどのように植物体中の元素含量を変化させたのか、またその変動は系統間で異なっていたのかについて、改めて ICP-AES を用いて検証を行う予定である。

今後は、上記の実験と同様に鉄条件を変えて栽培したミヤコグサを用いてガンマ線放出核種である ^{59}Fe による鉄のトレーサー実験を行うことを予定している。これにより鉄の挙動・分布が異なる組織を特定し、地上部を含めた更なる Micro-PIXE 解析を実施する部位の候補を増やし、どのような組織あるい

[H30-3]

は部位の元素局在の変化が環境応答のトリガーとなるのかについて知見を得るものとする。

参考文献

- [1] T.Yamamoto, et al., "Development of Method for Plant Material Analysis by Micro-PIXE (Particle Induced X-ray Emission)", JAEA Takasaki Annual Report 2012, 94, 2014
- [2] T.Yamamoto, et al., "Development of Method for Plant Material Analysis by Micro-PIXE (Particle Induced X-ray Emission)", JAEA Takasaki Annual Report 2013, 97, 2015
- [3] <https://doi.org/10.3769/radioisotopes.68.643>
- [4] <https://www.mdpi.com/2412-382X/3/3/18>
- [5] <http://www.plantphysiol.org/content/111/3/849>
- [6] <http://www.plantphysiol.org/content/144/1/197>

[H30-3]

茶葉の微量元素分布測定によるアルミニウム解毒機構の研究

Study on Aluminum Detoxification Mechanism of Tea Plants (*Camellia sinensis*) by Measuring Trace Element Distribution of Tea Leaves

安田啓介^{#A)}, 安田香澄^{A)}, 江夏昌志^{B)}, 山田尚人^{B)}, 山縣諒平^{B)}, 河地有木^{B)}, 佐藤隆博^{B)}
 Keisuke Yasuda^{#A)}, Kasumi Yasuda^{A)}, Masashi Koka^{B)}, Naoto Yamada^{B)},
 Ryohei Yamagata^{B)}, Naoki Kawachi^{B)}, Takahiro Satoh^{B)}

^{A)} Department of Informatics and Environmental Science, Kyoto Prefectural University

^{B)} Takasaki Advanced Radiation Research Institute,
 National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

Abstract

The element distribution of mature tea leaves was measured using the micro-PIXE / PIGE method. Elements of Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mn and F were identified with the measurement. In the epidermal cells, Al and Si showed the same distribution, whereas F had a different distribution.

Keyword: Tea leaves, Aluminum, Fluorine

1. はじめに

アルミニウム (Al) は土壌中ではケイ素 (Si)、酸素 (O) に次いで3番目に多い元素である。通常、土壌中ではAlはオキシ水酸化物、アルミノケイ酸塩等の形態で存在し、植物での化学的および生物学的反応には寄与しないと考えられている。しかし、酸性土壌では三価カチオン (Al^{3+}) として土壌中に溶け出す。 Al^{3+} イオンは植物に対して毒性を有し、多くの植物ではその体内に取り込まれることによって成長阻害等を引き起こす。特に熱帯雨林では酸性土壌が多いため影響は大きく、 Al^{3+} イオンの植物毒性がこの地域の農作物の収量を制限しているとも考えられている。一方、植物の中には酸性土壌でも Al^{3+} イオンの影響を受けないものもある。チャ (*Camellia sinensis*) はその代表的なものであり、成長阻害を受けずに植物体内に数 1000 ~ 数 10000 mg/kg という高濃度のAlを蓄積する。植物毒である Al^{3+} イオンを吸収して高濃度で集積することから、チャは Al^{3+} イオンの解毒機構を有すると考えられる。これまでの研究から、Alは茶葉の表皮細胞の細胞壁に分布することが明らかになってきた^[1]。このことからチャは茶葉においてAlを細胞壁に閉じ込めることによってその影響を排除しているものと考えられる。また、他の元素と毒性の低い化合物を形成して解毒しているとも考えられている^[2]。茶葉中でのAlの化学形についてはアルミノケイ酸塩、フッ素化合物、アルミニウムクエン酸錯体などが提案されている^[3,4]。

我々はこれまでにチャにおけるAl解毒機構の解明を目指して、イオンマイクロビームを用いたPIXE (Particle Induced X-Ray Emission) 法による茶葉中の微量元素濃度、および元素分布の測定を行ってきた^[5]。これにより茶葉中ではAlは表皮細胞の細胞壁に存在することを確認した。また成熟した茶葉ではAlと同様にSiも表皮細胞の細胞壁に存在することを見出し、チャは茶葉でアルミノケイ酸塩を形成することでAlを解毒している可能性を示した^[6]。一方、チ

ャはフッ素 (F) の高集積植物でもあるため、フッ素化合物を形成することによってAlを解毒するメカニズムが推察されている。これを検証する一つの方法としてAlとFの分布の相関を調べることが挙げられるが、軽元素であるFのPIXE測定は困難であり、これまでの測定ではAlとFの分布の相関を得るには至っていない。

フッ素はエネルギーが数 MeV の陽子との衝突で核反応を起こし、ガンマ線を発生する。このガンマ線の測定により、陽子ビームを用いたフッ素の元素分析が可能となる。この方法はPIGE (Particle Induced Gamma-Ray Emission) 法と呼ばれ、PIXE法では測定が困難な軽元素の分析に用いられている。

本研究ではmicro-PIXE/PIGE法を用いて茶葉のアルミニウムとフッ素の元素分布測定を行い、解毒機構としてフッ素化合物が形成されている可能性を調べた。

2. 実験

2.1 試料

試料には京都府立茶業研究所で採取した生育期間1年以上のサミドリ、アサヒ、ヤブキタの3種類の茶葉を使用した。マイクロトーム (Plant Microtome MTH-1) を用いて、茶葉の断面を葉脈の垂直方向に厚さ 120 μm で切り出し、4時間凍結乾燥を行った。この試料をアクリル製の試料台に取り付けてmicro-PIXE/PIGE測定に供した。Figure 1に試料台に取り付けられた試料の写真を示す。試料台の中心には1 mm ϕ の穴が開いており、その部分には厚さが4 μm のポリプロピレンフィルムが貼られている。茶葉試料は穴の上のフィルム上にテープで貼り付けた。

2.2 micro-PIXE/PIGE測定

micro-PIXE/PIGE測定は量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所イオン照射研究施設 (TIARA) のマイクロビーム装置を用いて行われた。エネルギー

[H30-3]

一が 3 MeV の陽子マイクロビームを茶葉断面に照射し、発生する特性 X 線を Si(Li) 検出器で、 $^{19}\text{F}(\text{p},\alpha\gamma)^{16}\text{O}$ 反応で発生するエネルギーが 6~7 MeV のガンマ線を NaI 検出器でそれぞれ検出した。Figure 2 に測定装置の写真を示す。試料は試料ホルダーの大气側に取り付けられている。Si(Li) 検出器は真空中に設置されており、試料で発生した X 線はポリプロピレン膜を通して検出器に入射する。NaI 検出器は試料のすぐ下流側の大气中に設置した。測定時のビーム径はおよそ $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ 、ビーム電流は 50~70 pA 程度であった。



Figure 1. Photograph of tea leaf sample mounted on sample holder.

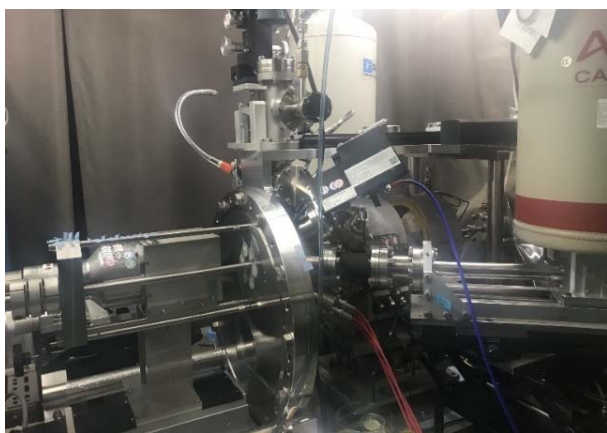


Figure 2. Photograph of micro-PIXE/PIGE measurement system.

3. 結果と考察

測定で得られた X 線のエネルギースペクトルを Figure 3 に示す。測定された元素を図中に示した。実線および点線の矢印はそれぞれの元素の K_{α} および K_{β} 線のエネルギーを示す。これからわかるように Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mn が検出された。4.45 keV および 4.9 keV 付近に Ti のピークが見られるが、これは試料を貼り付けたテープに含まれているものである。次に、 γ 線のエネルギースペクトルを Figure 4 に示す。 $^{19}\text{F}(\text{p},\alpha\gamma)^{16}\text{O}$ 反応で発生する γ 線のエネルギーは 6.13 MeV, 6.92 MeV, 7.12 MeV でこれらが測定されていることがわかる。また、ピークの低エネルギー

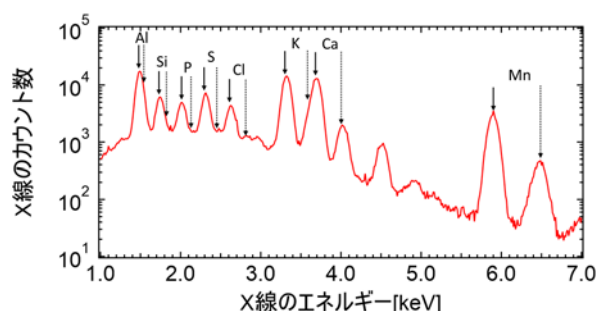


Figure 3. X-ray energy spectrum obtained with Si(Li) detector. Solid and dotted arrows show K_{α} and K_{β} X-ray energy.

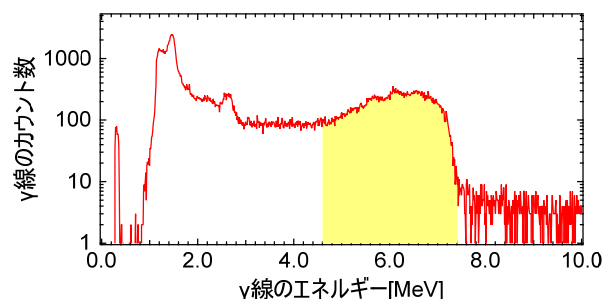


Figure 4. γ -ray energy spectrum obtained with NaI detector. Events in the yellow region (4.6 MeV ~ 7.4 MeV) were used for obtaining F distribution.

側にこれらの γ 線のコンプトンテールも見られる。ここでは、4.6 MeV~7.4 MeV の範囲のイベントを $^{19}\text{F}(\text{p},\alpha\gamma)^{16}\text{O}$ 反応で発生した γ 線とみなして、フッ素の分布を求めるのに使用した。

サミドリ の測定で得られた表表皮部分の Al, Si, F の元素分布を Figure 5 に示す。横軸の $10\ \mu\text{m}$ 付近が表表皮に該当する。これからわかるように Al と Si は同様の分布で、表皮細胞の細胞壁に局在していることがわかる。F も表皮細胞の境界に分布しているが、Al, Si とは分布が異なるように見える。分布の差異をより詳細に調べるために、これらの 2 次元元素分布において水平 (横軸) 方向に射影をとることにより線分布図を作成した。結果を Figure 6 に示す。この図から Al および Si には $10\ \mu\text{m}$ にピークがあることがわかる。一方、F では $13\ \mu\text{m}$ にピークがあり、Al および Si のピークの位置とは異なる。また、F の線分布図には $25\ \mu\text{m}$ 辺りにピークが見られるが、これは Al や Si には見られない。これから F に関しては Si ほどは Al と分布が一致しないことがわかる。

分布が一致しない理由としては、F の表皮細胞内での分布が Al, Si とは異なることが第一に考えられるが、それ以外に X 線の減衰が関与している可能性がある。Al と Si の K_{α} 線のエネルギーはそれぞれ 1.49

[H30-3]

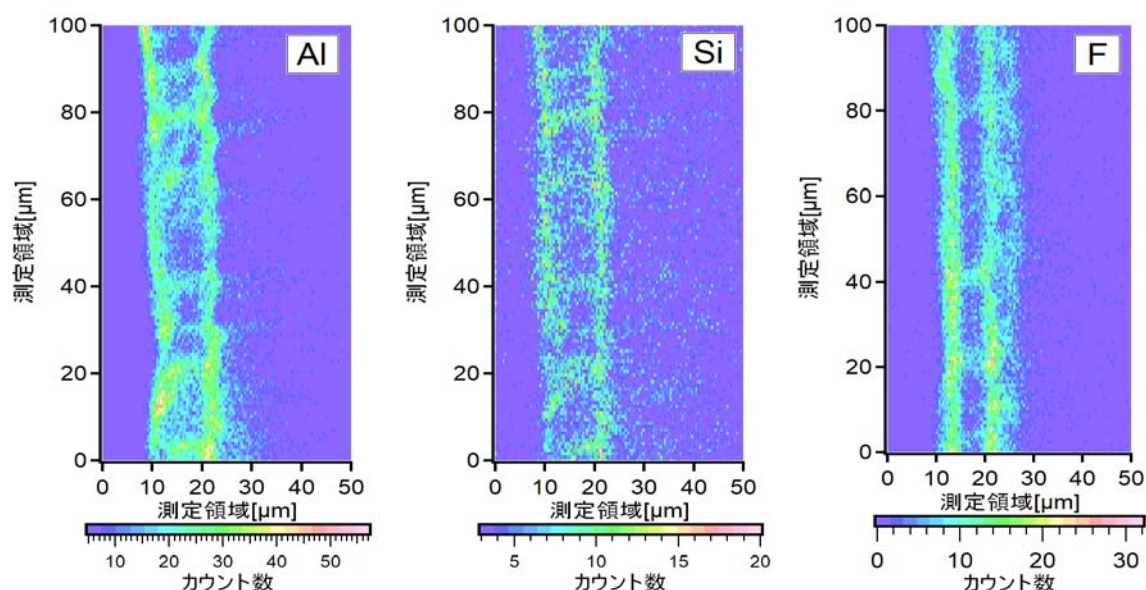


Figure 5 Two-dimensional elemental distribution of Al (left), Si (middle), and F (right) near epidermal region.

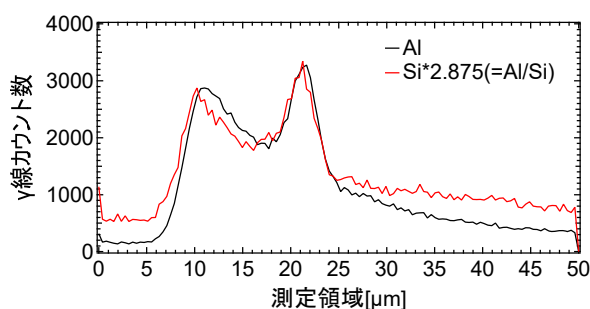


Figure 6. Line distributions of Al (black), Si (red), and F (blue) near epidermal region.

keV、1.74 keV で、細胞の厚さと X 線の減衰を考慮すると、試料表面より奥に存在する細胞からの X 線は測定されない。すなわち、Al と Si に関しては、試料表面の細胞のみを観察していることになる。一方、F についてはγ線のエネルギーが 6 ~7 MeV と高く試料内での減衰はほとんどないため、試料の表面より奥の部分で発生したγ線も検出される。本測定で用いた試料の厚さは 120 μm で、これは細胞数個分の厚さに相当する。このため、F に関しては細胞数個分を重ねて観察している可能性を否定できない。細胞内での F 分布を詳細に論じるには、より薄い試料を用いた測定が必要であると考えられる。

4. まとめ

micro-PIXE/PIGE 法を用いて茶葉の元素分布測定を行った。表表皮細胞において Al と Si は同様の分布を示したのに対し、F はこれとは異なる分布が得られた。Al、Si と F の分布の違いには試料内での X

線、およびγ線の吸収の差が影響している可能性がある。2020年度は試料作製方法を工夫することにより、より詳細な測定を行う予定である。

参考文献

- [1] Matsumoto, H.; Hirasawa, E.; Morimura, S.; Takahashi, E. Localization of aluminum forms in tea leaves. *Plant Cell Physiol* 1976, 17, 627-631.
- [2] Nagata, T.; Hayatsu, M.; Kosuge, N., Identification of Aluminium Forms in Tea Levels by ^{27}Al NMR, *Phytochemistry* 1992, 31(4), 1215-1218.
- [3] Gao, H.; Zhao, Q.; Zhang, X.; Wan, X.; Mao, J. Localization of Fluoride and Aluminum in Subcellular Fractions of Tea Leaves and Roots. *J Agric Food Chem* 2014, 62, 2313-2319.
- [4] Morita, A.; Horie, H.; Fujii, Y.; Takatsu, S.; Watanabe, N.; Yagi, A.; Yokota, H., Chemical forms of aluminum in xylem sap of tea plants (*Camellia sinensis* L.), *Phytochemistry* 2004, 65, 2775-2780.
- [5] Uomori, S.; Yamashita, H.; Saito, M.; Haruyama, Y.; Yasuda, K. Change of concentrations and distributions of aluminum and manganese in tea leaves, *Int J PIXE* 2013, 23, 13-19.
- [6] Haruyama, Y.; Fujiwara, T.; Yasuda, K.; Saito, M.; Suzuki, K., Localization of Aluminum in Epidermal Cells of Mature Tea Leaves, *Quantum Beam Sci.* 2019, 3(2), 9. <https://doi.org/10.3390/qubs4020019>

[H30-3]

ダイズ根系内のセシウム輸送挙動の解明

Elucidation of Cesium Transport Behavior in Soybean Root System

井倉将人^{#,A)}, 鈴木伸郎^{B)}, 尹永根^{B)}, 三好悠太^{B)}, 榎本一之^{B)}, 佐藤隆博^{B)}, 河地有木^{B)}
 Masato Igura^{#,A)}, Nobuo Suzui^{B)}, Yong-Gen Yin^{B)}, Yuta Miyoshi^{B)}, Kazuyuki Enomoto^{B)},
 Takahiro Satoh^{B)}, Naoki Kawachi^{B)}

A) Institute for Agro-Environmental Science, National Agriculture and Food Research Organization

B) Takasaki Advanced Radiation Research Institute,
 National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

Abstract

The localization of radioactive cesium in soybean roots and root nodules was investigated by positron-emitting tracer imaging system (PETIS) analysis to clarify the cesium uptake behavior in soybean root system. Radioactive cesium was significantly localized in soybean root nodules. And then it was suggested that cesium translocation occurs between root and nodule. micro particle induced X-ray emission (microPIXE) analysis showed a difference in stable cesium and potassium distribution in soybean root and nodule, and it is necessary to clarify the role of root nodules in cesium uptake by soybean.

Keyword: soybean, root nodule, cesium

1. はじめに

ダイズはセシウム吸収量の高い作物として知られており、元素吸収において根粒等の共生菌の関与が示唆されている。ダイズ根系におけるセシウムおよび共存元素吸収機構を解明することは、ダイズのセシウム移行低減技術の開発に不可欠である。本研究では、ダイズの根系における根および根粒内部のセシウム局在および吸収挙動を明らかにし、根系内の蓄積部位と地上部への輸送経路の解明から効率的なダイズのセシウム移行低減手法の開発を目指す。

2. 材料と方法

播種時に根粒菌(*Bradyrhizobium japonicum*)を接種したダイズ(エンレイ)を水耕栽培により約1ヶ月栽培し、PETISによるリアルタイムイメージング解析に用いた。セシウム吸収量は共存するカリウム濃度の影響を強く受けるため、実験開始72時間の水耕溶液中カリウム濃度を1/100に低下させ、低カリウム濃度条件への順化を行った。

PETISによるセシウム動態解析において、上記の植物体の根系からポジトロン放出核種のセシウム ^{127}Cs を16時間程度吸収させ(パルス試験)、その後無標識水耕液による栽培試験(チェイス試験)により根系のセシウム吸収および地上部へのセシウム輸送挙動について解析を実施した。

3. 結果と考察

PETISによるリアルタイムイメージング解析の結果、根および根粒部位における放射性セシウムの取り込みを確認し、特に根粒部位において顕著な集積が見られることを明らかにした(Fig.1)。複数株の解析において、根に取り込まれたセシウムは時間経過とともに減少し、地上部への移行により消費されていると考えられた。その中でセシウム吸収量の少な

い株では根粒組織に吸収されたセシウムが根と類似の減少傾向を示すことが確認され、地上部へのセシウム輸送に関与していることが示唆された。一方、放射性セシウムを豊富に取り込んだ株についてはチェイス試験時に根粒部位の ^{127}Cs シグナルが徐々に増加する傾向が確認された。この根粒内のセシウム増加は根からの転流によるものと考えられ、根粒と根の間で緊密なセシウム移動が行われていることが示唆された。

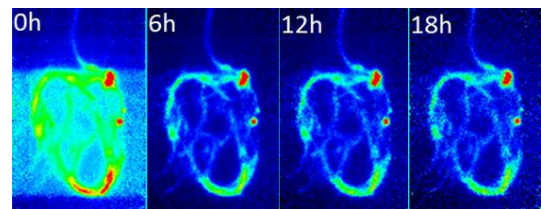


Figure 1. Real-time imaging by PETIS on ^{127}Cs uptake in soybean roots and root nodules (Chase experiment).

また、microPIXEによるダイズ根および根粒組織内の非破壊的な元素分布解析において、根および根粒内部のセシウムおよびカリウム分布の違いが確認されており^[1]、根と根粒ではセシウムやカリウムの吸収や蓄積に対する挙動が異なることが示唆された。

今回のリアルタイムイメージング解析から根粒組織はセシウムを蓄積しやすい組織であるとともに、根と根粒間でのセシウム移動が確認され、根粒組織も地上部へのセシウム供給に関与していることが示唆された。

今後は共存するカリウム濃度等の影響等を解析し、ダイズのセシウム移行低減において極めて重要な挙動について評価する。

参考文献

[H30-3]

- [1] M.Igura and T.Saito, “Elucidation of Cesium Transport Behavior in Soybean Root System”, QST Takasaki Annual Report 2018, 95, 2019