

X線分析顕微鏡を用いた非放射性セシウムの ダイズへの蓄積に関する検討

Investigation of Stable Cesium Accumulation in Soybean by Using X-ray Analytical Microscope

陰地 威史* 喜多 幸司* 伊藤 嘉昭**

Takeshi Onji Koji Kita Yoshiaki Ito

杉山 暁史***

Akifumi Sugiyama

(2016年7月7日 受理)

キーワード：セシウム, ダイズ, 蓄積, X線分析顕微鏡

1. はじめに

2011年3月の福島第一原発事故により広範囲の農地が放射性物質で汚染された。汚染土壌で植物を栽培した場合に、根から吸収された放射性セシウムが、どのように蓄積されるかについて、農業関係者らは大きな関心を寄せている。北海道・東北地方の主要作物であるダイズ内にセシウムが蓄積する部位を検討し、その蓄積機構を明らかにすることは、安心・安全な作物の提供に貢献する。

共同研究機関である京大大学生存圏研究所では、これまでにイネの葉や玄米におけるセシウムの蓄積部位を蛍光X線分析により検討してきた。また、当所では、蛍光X線分析装置として、元素の分布をマッピングにより可視化できるX線分析顕微鏡および測定ノウハウを保有しており、平成24年度から3年間にわたり両者で共同研究を実施した。

本研究では、セシウム元素の供給源として、非放射性の塩化セシウム(セシウム133)を添加した液体肥料水溶液を用いた水耕栽培および非放射性の硝酸セシウムを添加した土壌栽培によりダイズを育成した。得られたダイズの葉、茎および種子について、根から吸

取されたセシウムの各部位への蓄積をX線分析顕微鏡により検討した。

また、種子に蓄積されたセシウムの濃度を推定するために、ダイズ種子粉末(きな粉)に所定比率の塩化セシウムを添加し、プレス成型により作製した標準試料を用いた。標準試料によるマッピング画像の明度を利用した。なお、セシウム濃度を推定には、絶対検量線法を利用した。

2. 各部位におけるセシウム蓄積の検討

2.1 試料の栽培

ダイズの栽培は、共同研究機関が担当した。水耕栽培の様子を図1(a)に示す。液体肥料(窒素, リン, カリウム, およびカルシウムなど)の希釈水溶液に、セ

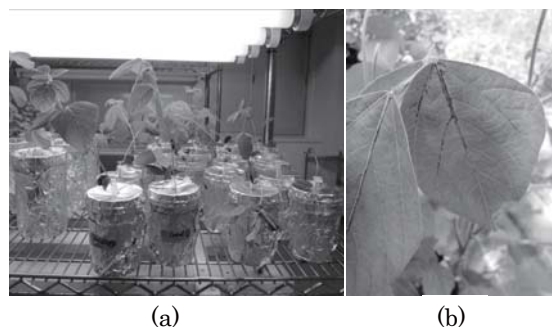


図1 (a) 水耕および (b) 土壌栽培の様子

* 繊維・高分子科

** 京都大学 化学研究所

*** 京都大学 生存圏研究所

シウム濃度が 1 mM となるように塩化セシウムを添加したものを水耕栽培用の溶液として用いた。なお、放射性同位体であるセシウム 137 および非放射性的のセシウム 133 について、植物(イネ)内部での蓄積挙動がほぼ同じであることが報告されている^{1,2)}。25°C の培養室において、1日あたり明状態 16 時間、暗状態 8 時間の条件で 2 ヶ月間栽培したダイズ(品種名:福獅子)を測定に供した。

また、土壌栽培の様子を図 1(b) に示す。栽培用ポットに真砂土 2 L, 黒土 2 L, および圃場土 0.1 L を入れ、開花期直前に、セシウム濃度が 1,000 ppm となるように土壌に硝酸セシウムを添加し、ダイズ(品種名:エンレイ)を栽培した。葉はセシウム添加後 3 日でサンプリングし、種子ならびに茎は栽培開始から 3 カ月の時点でサンプリングを行った。

2.2 測定方法

セシウムおよび植物中に多く存在する元素であるカリウムとカルシウムの測定には、X 線分析顕微鏡(堀場製作所, XGT-5200WR)を用いた。測定条件は、X 線照射径; 1.2 mm または 10 μm , 管電圧; 15 kV, 積算回数; 5~20 回とした。また、セシウムについては $L\alpha$ 線のピークから、カリウムおよびカルシウムについては $K\alpha$ 線のピークからマッピング画像を得た。なお、マッピング画像は、各元素の含有量に比例して輝度が高くなる設定とし、試料および元素種に応じ、最適な輝度が得られるよう、測定条件を調整した。

2.3 葉におけるセシウムの蓄積

水耕および土壌栽培時にセシウムを添加したダイズの葉と、コントロールとしてセシウムがない条件で栽培したダイズの葉についてマッピング測定を行った。各試料を X 線透過フィルムで保持し、X 線分析顕微鏡の試料台上に並べ測定した。測定条件は、X 線照射径; 1.2 mm, 管電圧; 15 kV, 積算回数; 6 回, 測定時間; 500 秒および画素数; 256 \times 256 とした。水耕栽培したダイズの葉表面の光学顕微鏡写真およびマッピ

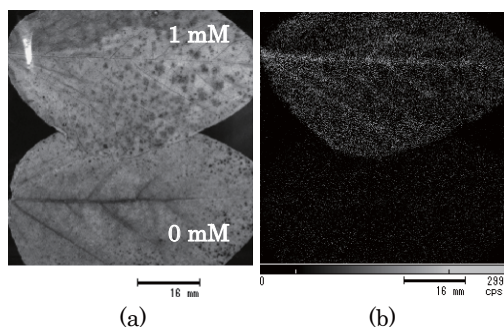


図 2 (a) ダイズの葉表面の光学顕微鏡写真および (b) セシウムの分布(上; セシウム添加, 下; コントロール)

ング測定結果を図 2 に示す。

図 2(b) のマッピング画像から、コントロールではセシウムの蓄積は確認されなかったが、塩化セシウムを添加した液体肥料で栽培された葉においては、明らかなセシウムの蓄積が確認でき、また、葉脈に沿って蓄積量が多くなることがわかった。

一方、土壌栽培したダイズの葉についても同様に分析を行ったが、セシウムの蓄積を確認することができなかった。土壌栽培においては、硝酸セシウムを添加してから 3 日後に葉をサンプリングしており、ほぼ成長を終え組織が完成された葉では、この期間中に蓄積されたセシウムの量は、マッピング画像が得られる感度未満であったものと推定される。

2.4 茎におけるセシウムの蓄積

水耕ならびに土壌栽培で育成したダイズの茎の断面を測定した。測定条件は、X 線照射径; 10 μm , 管電圧; 15 kV, 積算回数; 20 回, 測定時間; 300 秒, 画素数; 256 \times 256 とした。水耕および土壌栽培の茎断面の測定結果を図 3 および図 4 にそれぞれ示す。なお、図には、コントロールおよびセシウム添加試料の光学顕微鏡写

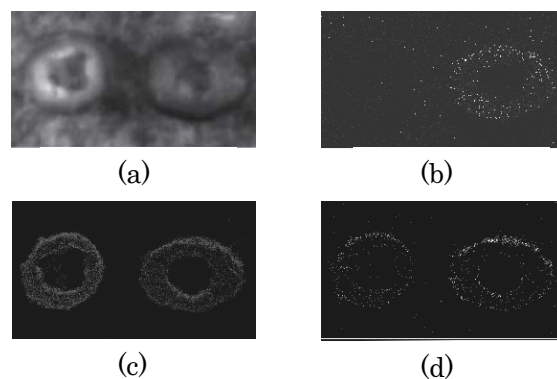


図 3 水耕栽培の茎断面の (a) 光学顕微鏡写真, (b) セシウムの分布, (c) カリウムの分布, および (d) カルシウムの分布(各図中, 左; コントロール, 右; セシウム添加)

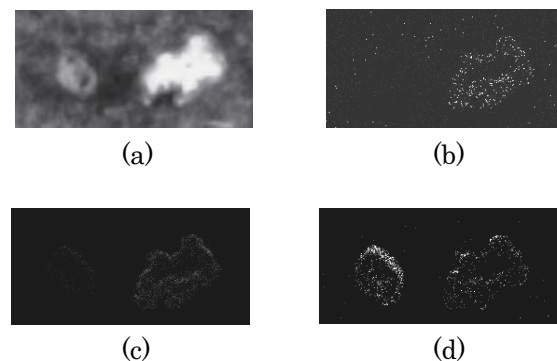


図 4 土壌栽培の茎断面の (a) 光学顕微鏡写真, (b) セシウムの分布, (c) カリウムの分布, および (d) カルシウムの分布(各図中, 左; コントロール, 右; セシウム添加)

真, セシウム, カリウムおよびカルシウムのマッピング写真を示す.

図3および4から, 両栽培方法により得られた茎中にはセシウムが蓄積していることがわかるが, その分布については, 栽培方法により顕著な差は認められなかった. また, カリウムおよびカルシウムの分布状態と比較したところ, カリウムは, セシウムと同様に茎断面に様に分布しているのに対し, カルシウムは表皮(周辺部)に多く分布していた. この理由として, セシウムは, 同じ第I族の金属であるカリウムと同様の摂取・輸送経路をとっているためと考えられる.

2.5 種子におけるセシウムの蓄積

種子におけるセシウムの蓄積を検討した. 測定条件は, X線照射径; 1.2 mm, 管電圧; 15 kV, 積算回数; 10回, 測定時間; 500秒および画素数; 256×128とした. 水耕および土壌栽培の種子断面の測定結果を, 図5および図6にそれぞれ示す.

どちらの栽培方法においてもセシウムの蓄積が確認されたが, 茎断面と同様に, その分布には栽培方法による違いは認められなかった.

3. 種子中のセシウム濃度の測定

本研究に用いたX線分析顕微鏡は, ダイズの主構成元素である水素, 炭素, 酸素および窒素などの軽元素を検出できないため, 装置付属の簡易定量ソフト(ファンダメンタルパラメーター法)を用いても, ダイズ試料に含まれるセシウム濃度の情報を正確に得ることができない. そこで, 種子の粉末(市販のきな粉)に一定比率のセシウムを添加した標準試料を作製し, マッピング画像の明度を利用した絶対検量線法により, 種子中のセシウム濃度を推定した.

標準試料は, セシウムの重量濃度が0~1.0%となるように, きな粉に炭酸セシウムを添加後, きな粉と同重量の蒸留水を加え, 混練し, 50℃で1時間乾燥後, 錠剤成形機を用いプレス成型した. X線分析顕微鏡の測定条件は, X線照射径; 1.2 mm, 管電圧; 15 kV, 積算回数; 10回, 測定時間; 500秒および画素数; 256×128とした. なお, 標準試料と種子(水耕および土壌栽培)を同一の視野内に配置し, 同時に測定を行い, 観察画像の出力条件も同一となるようにした.

標準試料について, 光学顕微鏡像を図7(a)に, 得られたセシウムのマッピング画像を図7(b)に示す. 図7(b)から, 標準試料のセシウム濃度の増加とともに, セシウムを示す青色のドットがより明瞭になっていることがわかる. 得られたマッピング画像について, 画

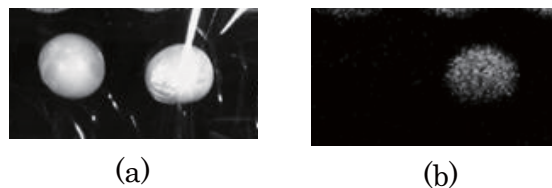


図5 水耕栽培の種子断面の(a)光学顕微鏡写真, (b)セシウムの分布(各図中, 左;コントロール, 右;セシウム添加)

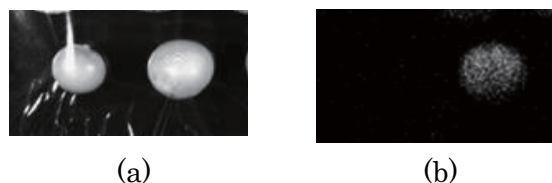
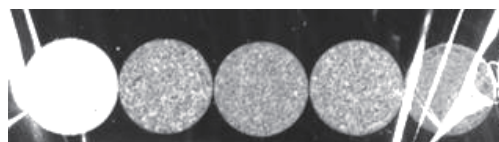
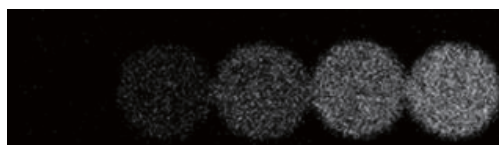


図6 土壌栽培の種子断面の(a)光学顕微鏡写真, (b)セシウムの分布(各図中, 左;コントロール, 右;セシウム添加)



(a)



(b)

図7 標準試料の(a)光学顕微鏡写真, (b)セシウムの分布(左からセシウム濃度; 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0%)

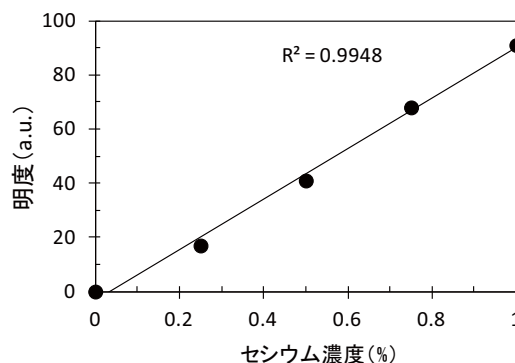


図8 標準試料を用いて作成したセシウムの検量線

像処理ソフト(Paint Shop Pro 4.2J)を用い, 各標準試料のマッピング画像の中心付近の明度を求めた. なお, マッピング画像は, 8ビット単色画像であり, 明度の範囲は, 最小値が0, 最大値が255(無単位)である.

セシウム濃度と明度の関係(検量線)を図8に示す。検量線の相関係数(R2値)は0.99であり、良好な直線性を示したことから、標準試料の内部にセシウムが均一に分散しているものと考えられる。

次に、水耕栽培および土壌栽培で得られた種子断面のマッピング画像の明度から種子中のセシウム濃度を求めた結果を表1に示す。水耕栽培について約0.9%、土壌栽培について約0.8%であると推定され、栽培方法による種子中へのセシウム蓄積量には大きな差は認められなかった。

4. まとめ

セシウムを添加した水耕栽培および土壌栽培で得られたダイズの葉、茎および種子へのセシウムの蓄積を検討した結果を以下に総括する。

- 1) 葉については、葉脈部分にセシウムが多く蓄積されていることがわかった。土壌栽培試料については、蓄積量が少ないため明瞭なマッピング画像が得られなかった。
- 2) 茎については、両栽培方法ともにセシウムの蓄積が確認され顕著な違いはなかった。また、その蓄積の様子は同じ第I族の金属であるカリウムに類似した。

表1 種子中のセシウム濃度の定量結果

	明度(無単位)	セシウム濃度(%)
水耕栽培	81	0.90
土壌栽培	73	0.82

- 3) 種子については、両栽培方法ともに蓄積が確認され、両者に顕著な違いはなかった。
- 4) 種子粉末(きな粉)に炭酸セシウムを添加した標準試料を調製し、セシウム濃度およびマッピング画像の明度から検量線を作成した。また、絶対検量線法を用いて、種子中のセシウム濃度を求めた結果、水耕栽培について約0.9%、土壌栽培について約0.8%であると推定された。

参考文献

- 1) 塚円祥文, 鳥山和伸, 山口紀子, 武田 晃, 中尾 淳, 原田久富美, 高橋知之, 山上 睦, 小林大輔, 吉田 聡, 杉山英男, 柴田 尚: 日本土壌肥科学雑誌, **82**, 5 (2011) 408.
- 2) 山口紀子, 高田裕介, 林健太郎, 石川 覚, 倉俣正人, 江口定夫, 吉川省子, 坂口 敦, 朝田 景, 和穎朗太, 牧野知之, 赤羽幾子, 平舘俊太郎: 独立行政法人農業環境技術研究所報告, (2012) 75.