

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26850040

研究課題名(和文)植物によるセシウム吸収の生理学的モデル式の構築

研究課題名(英文)Development of physiological model for cesium uptake by plant root

## 研究代表者

藤村 恵人(FUJIMURA, Shigeto)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター農業放射線研究センター・主任研究員

研究者番号：70560639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：作物の根におけるセシウム吸収に関するセシウムとカリウムの相互作用を明かにすることを目的として研究を行った。水耕栽培実験において、水田で観測される範囲で設定した3水準のカリウム濃度で24時間栽培した水稻について、カリウムとセシウムの吸収速度を測定した。その結果、カリウム濃度の低下に伴いカリウム吸収速度は増加したが、セシウム吸収速度の明瞭な変化は認められなかった。本研究の結果は、根が低カリウム条件に晒されることにより、曝露後のカリウム吸収が促進されることを示すものであった。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to understand the interaction between potassium and cesium on cesium uptake by crop root. Potassium and cesium uptake rates were measured for rice exposed to three levels of potassium concentrations for 24 hours in hydroponic culture experiment. The potassium concentrations were in the range of observed value in paddy fields. Potassium uptake rate was higher in the low potassium concentration than in the high potassium concentration while significant effect of potassium concentrations was not observed on the cesium uptake rate. The results indicated that potassium concentration around root affected potassium uptake after the exposure.

研究分野：作物学・植物生理学

キーワード：セシウム カリウム 水稻 モデル 吸収

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故により東日本の広範囲に放射性物質が拡散した。農業生産現場においては、拡散した放射性物質のうち半減期の長い放射性セシウムの経根吸収による農産物の汚染が問題となっている。

植物によるセシウムの吸収には、土壌 pH、セシウムの吸着源としての粘土鉱物含量、陽イオンの存在量等が影響する。陽イオンについては、セシウムと同族のアルカリ金属であるカリウムの影響が大きいことが知られている。東京電力福島第一原子力発電所事故で拡散した放射性セシウムについても、水稻による吸収は土壌中の交換性カリウム含量の増加によって抑制されたことが報告されている (Saito ら、2012)。

植物によるセシウム吸収に及ぼすカリウムの作用は、(1) 土壌における挙動と、(2) 輸送体を介した植物による吸収過程、の2つの局面で働く。カリウムは植物によるセシウムの吸収を(1)では促進し、(2)では抑制すると考えられており、カリウムが植物によるセシウム吸収に与える影響は2局面のバランスにより決まる。

土壌において、カリウムは粘土鉱物等に吸着したセシウムを置換する働きがある。植物は粘土鉱物等に吸着や固定されていないセシウムを吸収するため、カリウムが多いと植物が吸収できる形態である可給態セシウムは増える。Absalom ら (1999) は土壌におけるセシウムの挙動の解析に基づいて植物による放射性セシウムの吸収を推定するモデルを報告している。

輸送体を介した植物による吸収過程については、セシウムはカリウムの輸送体を通じて植物に吸収されること、また、輸送体を通るカリウムとセシウムが競合関係にあることに基づいた吸収モデル式が Shaw ら (1991) によって構築された。しかしながら、Shaw ら (1991) のモデル式は極短時間における放射性セシウムの吸収を説明するものであり、生育期間全体に渡る放射性セシウムの吸収を説明できるものではなかった (Fujimura ら、2014)。研究代表者らは、Shaw ら (1991) のモデル式に土壌中の可給態カリウム濃度に応じて植物の根のカリウム輸送体発現量が変化することを仮説として加味し、生育期間全体に渡る放射性セシウムの吸収を説明するモデル式を構築した (Fujimura ら、2014)。このモデル式により水田における交換性カリウム含量と玄米中放射性セシウム濃度の関係が説明でき、さらに、土壌中の可給態放射性セシウム濃度が玄米中放射性セシウム濃度の水田間差異の要因であることが示唆された。

## 2. 研究の目的

本研究では、植物によるセシウム吸収に及ぼすカリウムの作用のうち、植物の輸送体を

介したカリウムとセシウムの相互作用を明らかにすることを目的とした。研究代表者らが構築したモデル式は、( ) 土壌中の可給態カリウムおよびセシウム濃度、( ) カリウム輸送体のカリウムおよびセシウムそれぞれに対する親和性・最大吸収速度、( ) 輸送体発現量増加の閾値等の複数のパラメータにより組み立てられている。( ) のうち可給態カリウム濃度は土壌分析により測定できるが、可給態セシウム濃度の測定方法は定まっていない。( ) と ( ) はイネに関するパラメータであるが、文献値を参考に推定値を代入しており、モデル式の精度を高めるためには、パラメータの値を実験によって求める必要がある。そこで本研究では ( ) と ( ) のパラメータの値を定量することを試みた。

## 3. 研究の方法

### (1) 水耕栽培

水稻品種コシヒカリを供試してガラス温室において水耕栽培実験を行った。育苗培土で育苗した3葉期の水稻苗を水耕ベッド(96×46cm、高さ17.3cm)に1株当たり2本で38株移植した。養液(総量220L)は容量90Lの養液タンクから水耕ベッドにポンプで送液し、オーバーフローにより養液タンクに還流させることで水耕システム内を循環させた。移植時の養液はN、P、K、Mg、Caを各10ppm、Feを2ppm、Mnを0.5ppmとした。移植9日目からは定量送液ポンプにより養液タンクに養液溶液を添加した。日当たり添加量はN、P、K、Mg、Ca各304mg、Fe60.8mg、Mn15.2mgとした。pHは5.0~5.5に調整した。蒸発散による養液の減少はイオン交換水により補充した。

### (2) カリウム濃度処理

根域の低カリウム濃度処理が、処理後のカリウムおよびセシウム吸収速度に及ぼす影響を調査するために、水耕ベッドへの移植後27日目(9葉期)にカリウム濃度0.5ppm、5ppmおよび10ppmの養液に24時間静置するカリウム濃度処理を行った。処理養液のN、P、Mg、Caは10ppm、Feは2ppm、Mnは0.5ppmとし、20L容器において19Lの養液を用いた。処理期間中のカリウム濃度の変動を抑制するために、5ppm処理および10ppm処理については上記養液を毎時180mLで定量送液ポンプで添加・オーバーフローさせた。各容器に2株を静置し、1株ずつを下記のカリウムおよびセシウム吸収速度の測定に供した。処理は3容器を用いて行う3反復とした。

### (3) カリウムおよびセシウム吸収速度

カリウム濃度処理終了直後にカリウムおよびセシウム吸収速度を測定した。カリウム溶液(10ppm)もしくはセシウム溶液(45ppm)300mlに1株を静置し、静置後20、40、60、80、100、120分後に溶液を3mLずつ採取して、

カリウムもしくはセシウム濃度を測定した。採取毎にカリウム溶液もしくはセシウム溶液 3mL を補充した。測定した濃度から両元素の累積吸収量を算出し、経過時間に対する傾きを吸収速度として算出した。

#### 4. 研究成果

##### (1) カリウム濃度処理

いずれのカリウム濃度処理水準においても 24 時間の処理期間中にカリウム濃度の変動はほとんどなく、ほぼ一定の値で推移した (図 1)。処理期間中の平均濃度  $\pm$  SD は 0.5ppm 処理、5ppm 処理および 10ppm 処理でそれぞれ  $0.37 \pm 0.40$ ppm、 $5.0 \pm 0.2$ ppm、 $9.8 \pm 0.1$ ppm であった。

5ppm 処理および 10ppm 処理においては用いた養液量が 19L と多いことに加えて合計 4.3L 程度の養液を掛け流したことにより、カリウム濃度が一定に保たれたと推察された。今後、カリウム濃度処理に対するカリウムおよびセシウム吸収速度の影響を定量的に明らかにしていく予定であるが、今回の処理方法を用いることにより細かい濃度設定による実験を行うことが可能である。

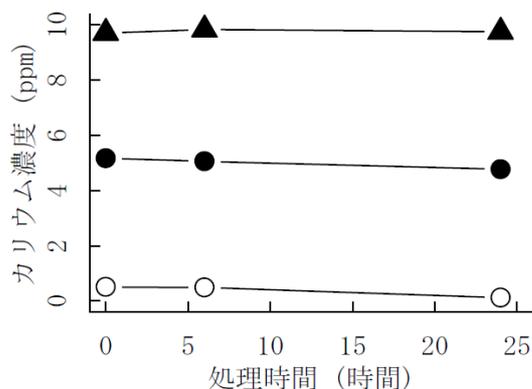


図 1. カリウム濃度処理中のカリウム濃度の推移。3 反復の平均値を示す。● : 10ppm 処理、● : 5ppm 処理、○ : 0.5ppm 処理

##### (2) カリウムおよびセシウム吸収速度

カリウム溶液への静置後 20 分から 120 分における経過時間と累積吸収量の回帰直線の決定係数は、0.1ppm 処理および 5ppm 処理においては高い値を得られたが、10ppm 処理においては低かった (図 2)。セシウムについては 0.5ppm 処理では高い決定係数を得られたが、5ppm 処理および 10ppm 処理における決定係数はやや低かった (図 3)。

これら直線の傾きをカリウムおよびセシウム吸収速度として算出した。本実験においては株当たり根乾物重に有意な処理間差は認められなかったため、吸収速度は株当たりで吸収速度を算出した。

カリウム吸収速度には有意なカリウム濃度処理間差が認められ、10ppm 処理に比べて 0.5ppm 処理で有意に高かった (図 4)。本実

験ではカリウム処理濃度の低下に伴いカリウム吸収速度が直線的に増加することが示唆された。今後はカリウム処理濃度を細かく設定するとともに、処理濃度域を広くした実験を行い、カリウム処理濃度とカリウム吸収速度との間の直線関係やカリウム吸収速度が変化するカリウム処理濃度の閾値の存在について検証する予定である。

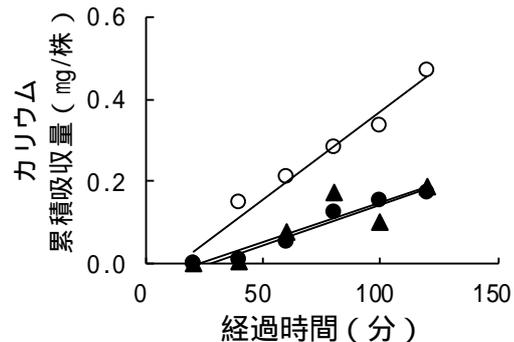


図 2. カリウム吸収速度の測定。3 反復のうち決定係数が中ほどであった反復の値を示す。○ : 10ppm 処理 ( $r^2=0.78$ ) ● : 5ppm 処理 ( $r^2=0.97$ ) ▲ : 0.5ppm 処理 ( $r^2=0.97$ )

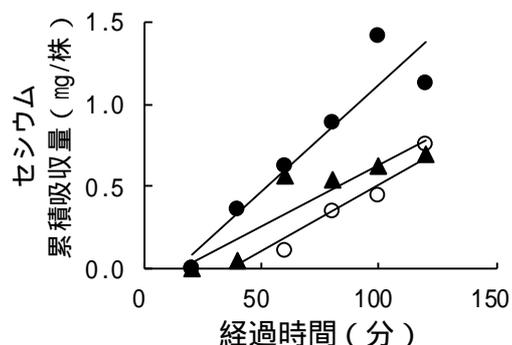


図 3. セシウム吸収速度の測定。3 反復のうち決定係数が中ほどであった反復の値を示す。○ : 10ppm 処理 ( $r^2=0.89$ ) ● : 5ppm 処理 ( $r^2=0.89$ ) ▲ : 0.5ppm 処理 ( $r^2=0.97$ )

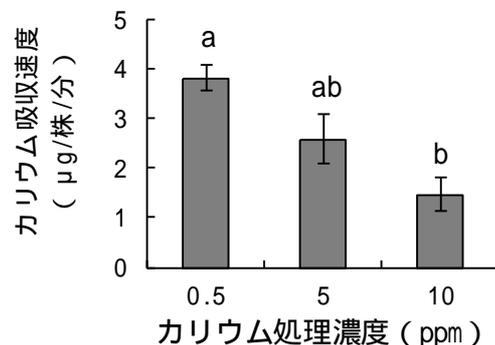


図 4. カリウム濃度処理がカリウム吸収速度に及ぼす影響 (平均値  $\pm$  SE,  $n=3$ ). 異なる文字は 5% 水準で有意な差があることを示す (Tukey)。

セシウム吸収速度については有意なカリウム濃度処理間差は認められなかった(図5)。今回の実験においては累積吸収量と経過時間の回帰直線の決定係数が低く、吸収速度の測定精度が低かった。測定に供したセシウム溶液にはカリウムを添加しておらず、そのため、根から溶液へカリウムが溶出した可能性が高く、そのことがセシウム吸収速度に影響を及ぼした可能性が考えられた。また、セシウム吸収速度の測定に用いたセシウム濃度は通常の農地において観測される土壌溶液のセシウム濃度に比べて非常に高い水準であった。通常の水田におけるセシウム吸収の挙動について考察を行うために、今後は通常観測されるセシウム濃度域においても測定を行う予定である。

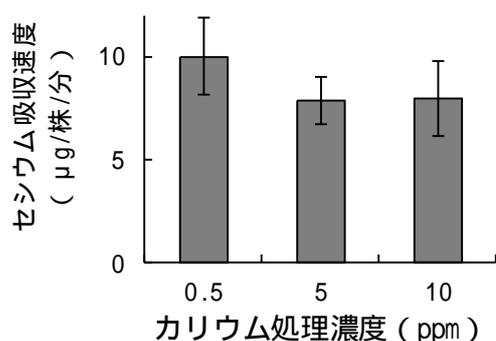


図5. カリウム濃度処理がセシウム吸収速度に及ぼす影響(平均値±SE, n=3)。有意な処理間差は認められなかった。

本研究では根のカリウムおよびセシウムそれぞれに対する親和性・最大吸収速度を測定し、これらの値について品種間比較を行うための実験も行った。いずれの値についても品種間差異があることを示唆する結果を得たが、再現実験を行えていないため結果は示さなかった。本報告で示したカリウム濃度処理の影響は親和性や最大吸収速度に対するものであると推察され、また、その影響の程度には品種間差異がある可能性も考えられる。今後はこれらについても検証を行っていく予定である。

本研究により、根域のカリウム濃度の低下により根におけるカリウム吸収速度が増加することが示された。設定したカリウム処理濃度は通常の水田における土壌溶液のカリウム濃度として観測される濃度域であることから、今回観測された低カリウム条件によるカリウム吸収速度の増加は通常の水稲栽培においても生じている可能性が高いと考えられた。今後はこのような影響が比較的長い期間持続するのか否かについても検証する予定である。

#### <引用文献>

Saito, T., Ohkoshi, S., Fujimura, S., Iwabuchi, K., Saito, M., Nemoto, T., Sato,

M., Sato, M., Yoshioka, K., Tsukada, H., 2012. Effect of potassium application on root uptake of radiocesium in rice. Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations. Kyoto University Research Reactor Institute, Osaka, 165-169.

Absalom, J.P., Young, S.D., Crout, N.M.J., Nisbet, A.F., Woodman, R.F.M., Smolders, E., Gillett, A.G., 1999. Predicting Soil to Plant Transfer of Radiocesium Using Soil Characteristics. Environ. Sci. Technol. 33.

Shaw, G., Bell, J.N.B., 1991. Competitive effects of potassium and ammonium on caesium uptake kinetics in wheat. J. Environ. Radioact. 13, 283-296.

Fujimura, S., Ishikawa, J., Sakuma, Y., Saito, T., 2014. Theoretical model of the effect of potassium on the uptake of radiocesium by rice. J. Environ. Radioact. 138, 122-131.

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表](計 1件)

藤村 恵人、石川 哲也、松波 寿弥、高橋 義彦、太田 健、信濃 卓郎・北陸 193 号とコシヒカリの放射性セシウム吸収の比較・日本作物学会東北支部会第 58 回講演会 2015 年 8 月 20 日・岩手大学(岩手県・盛岡市)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤村 恵人 (FUJIMURA Shigeto)

東北農業研究センター農業放射線研究センター・主任研究員

研究者番号：70560639