

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11961

研究課題名(和文)畑作物への放射性セシウムの移行機作の解明と移行低減技術の探索

研究課題名(英文) Analysis on the transfer of radioactive cesium from soil to upland crop and developing technologies to reduce the transfer of radioactive cesium

研究代表者

久保 堅司 (Kubo, Katashi)

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・主任研究員

研究者番号：20446470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：コムギにおいて、放射性セシウム(RCs)の子実濃度が異なる品種間で子実濃度に違いが顕れる要因を解析した。土壌の交換性カリ含量が低い条件では「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも子実のRCs濃度が高かったのに対して、土壌の交換性カリ含量が高い条件では逆に「シロガネコムギ」の方が「AU49」よりも子実のRCs濃度が高かった。その違いには、茎葉から子実へのRCsの植物体内における分配が影響していた。根から地上部へのカリウムの移行性を比較したところ、「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも高かった。よって、「AU49」は「シロガネコムギ」と比較してカリウムの要求度が高い品種であることが示された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the factors affected to the difference in radioactive cesium (RCs) accumulation in grain between wheat varieties. 'AU49' had higher RCs concentration than 'Shiroganekomugi' in low exchangeable potassium condition in soil. On the other hand, 'Shiroganekomugi' had higher RCs concentration than in high exchangeable potassium condition in soil. The difference was affected by the transportability of RCs from shoot to grain. Transportability of potassium from root to shoot was higher in 'AU49' than in 'Shiroganekomugi'. From these results, it was considered that potassium demand was higher in 'AU49' than in 'Shiroganekomugi'. RCs is similar with potassium in chemical property. Higher demand of potassium in 'AU49' may be a reason that 'AU49' had higher grain RCs concentration than 'Shiroganekomugi' in low exchangeable potassium condition in soil.

研究分野：作物生産科学

キーワード：放射性セシウム カリウム 畑作物 品種間差異

1. 研究開始当初の背景

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故による放射性セシウム (Cs) の放出により、広範囲な農地が汚染された。喫緊の対策として農地を除染する手法等が提示されたが(安東、2012)、全面的な解決には至っていない。作物が放射性 Cs を吸収することは古くから知られており、栽培環境・条件によってはその蓄積が食品安全上の問題となる。作物における放射性 Cs の吸収・移行機作を解明し、作物中の放射性 Cs を低減させる技術を開発させることは、農産物の安全性を高める上で、さらには被災地域における農業の復旧・復興を目指す上で、重要である。しかし、作物における Cs の吸収・移行機作に関する研究は栽培、生理、遺伝育種の分野において少なく、知見は限られていた。

申請者らはこれまでに、土壌の交換性カリウム(K)含量の違いにより、土壌から作物への放射性 Cs の吸収・移行が影響を受けることを明らかにした(Kubo et al., 2015)。また、現地圃場試験により、コムギの放射性 Cs の蓄積には品種間差異があることも確認している(図1)。



図1. コムギ子実の放射性 Cs 濃度の品種間差異

(注) 各品種の濃度を低い順に配列した。
約 260 品種の比較試験の結果、子実濃度に最大で約 10 倍の差異が認められた(久保 2014; 岡山大学植物遺伝資源・ストレス科学研究拠点シンポジウム「植物による東日本大震災被災農地の修復」)。

2. 研究の目的

作物の可食部の放射性 Cs 濃度には作物種間差異および品種間差異が存在することが分かっているが、どのような機作で放射性 Cs の吸収・分配パターンに違いが顕れるのかは明らかになっていない。本研究では代表的な畑作物のひとつであるコムギを供試材料とし、放射性 Cs の子実濃度が異なる品種間で子実濃度に違いが顕れる過程と要因を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 放射性 Cs の吸収・移行機作の解析

圃場試験により、子実の放射性 Cs 濃度に差があるコムギ 2 品種で、植物体の部位別・生育時期別の放射性 Cs の濃度分布を調査し、放射性 Cs の蓄積が多い品種と少ない品種で吸収・移行に差が顕れる箇所を明らかにする。また、土壌の交換性カリ含量が異なる試験区

を設置することにより、土壌の交換性カリ含量が両品種の子実の放射性セシウム濃度に及ぼす影響を明らかにする。具体的には、福島県内の現地圃場(灰色低地土、試験開始時の ^{137}Cs 濃度 2327 Bq/kg)において、土壌の交換性カリ含量が 4 段階(無カリ、30、45、60 mg $\text{K}_2\text{O}/100\text{g}$)に異なる試験区を硫酸カリで設定し、コムギ品種「シロガネコムギ」と「AU49」を栽培した。2015年10月23日、苦土石灰を 100 kg/10 a、窒素とリン酸(硫酸、過リン酸石灰)を各々 10 kg/10 a 施用し、条間 75 cm で耕起・播種(8 kg/10 a)した。一区面積は 11.25 m^2 で、試験区制は 3 反復の分割区法(主区 土壌の交換性カリ含量、副区 品種)とした。出穂後(2016年5月10日)、穂数を計測した。成熟期頃(6月14~21日)地上部を地際で刈り取り、穂数を計測後、脱穀・風選した。収量と収量構成要素については単位面積あたり子実重、100 粒重、一穂粒数を、脱穀後の茎葉については乾物重を測定した。その後、子実と茎葉を粉碎し、ゲルマニウム半導体検出器により ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度を測定した。成熟期には各区の刈り取り箇所を採取し、風乾・調製後 ^{137}Cs 濃度と土壌の交換性カリ含量を測定した。土壌の交換性カリ含量は 1M 酢酸で抽出後、原子吸光度計により測定した。

(2) 放射性 Cs と他種元素の相互作用の解析

植物体では様々な元素が、相互に関係しながら吸収・輸送されている。申請者らは有害元素の一つであるカドミウム(Cd)と、同族元素である亜鉛(Zn)が、子実濃度では正の相関関係を示すことを明らかにしている。一方で、Cd と Zn の体内分布は完全には一致しないというデータも得ている。Cs についても、植物体内で K のような同族元素と類似した挙動を示す可能性がある。その一方で、必須元素である K と非必須元素である Cs を選別する機能に植物種間・品種間で違いが存在することも考えられる。そこで Cs の蓄積性が異なるコムギ品種を用い、Cs と類似した動態を示す K 等元素の相互作用を明らかにする。具体的には、トレーサー試験により、放射性 Cs と K の部位間の移行性を精査する。両品種の幼苗を 10 日間、K0 mM、0.03mM、0.3mM、3mM の溶液で生育させたのち、K0.03mM 溶液に ^{137}Cs (5261cpm/L)、 ^{42}K (91931cpm/L)を加え、2 時間吸収させた。吸収後、水洗いを 3 回行い、地上部と地下部に分離後、新鮮重を測定し、ガンマカウンターで測定($^{42}\text{K} + ^{137}\text{Cs}$)した。2 週間後、再度ガンマカウンターで測定(^{137}Cs)し、 ^{42}K については最初のカウントより 2 週間後のカウントを引くことにより求めた。試験は 5 反復で実施した。

(3) 放射性 Cs および各種元素の移行動態と関わる遺伝領域の特定に向けた遺伝子地図の作成

放射性 Cs の蓄積が多い品種と少ない品種の交配から得られる組換え自殖系統群において、遺伝子地図を作成する。はじめに、両親間で多型の認められる DNA マーカーを特定した。その後、両親間で多型が認められた DNA マーカーを用いて組換え自殖系統群の多型調査を行った。

4. 研究成果

(1) 放射性 Cs の吸収・移行機作の解析

栽培後の土壌の交換性カリ含量はいずれの処理区においても「AU49」区の方が「シロガネコムギ」区よりも低く、「AU49」はカリウムの要求度が高い品種であることが推察された(図2)。子実の⁴⁰K含量はいずれの処理区においても「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも高かった(図3)。両品種とも、土壌の交換性カリ含量が高まることにより、¹³⁷Cs の移行性は低下した。しかし、無カリ区の土壌の交換性カリ含量が低い条件では「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも移行性が高い傾向にあったのに対して、無カリ区以外のカリ条件では逆に「シロガネコムギ」の方が「AU49」よりも移行性が高かった。一方で、茎葉の¹³⁷Cs濃度はいずれの処理区においても「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも高かった(図4)。¹³⁷Csの茎葉に対する子実の濃度比は、子実濃度と同じく無カリ区の土壌の交換性カリ含量が低い条件で「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも移行性が高かったのに対して、無カリ区以外のカリ条件では逆に「シロガネコムギ」の方が「AU49」よりも移行性が高かった(図5)。これらのことから、茎葉と子実のCsの分配が土壌の交換性カリ含量により品種間で異なることが推察された。両品種とも、単位面積あたり子実重、100粒重、一穂粒数、地上部乾物重、および穂数に土壌の交換性カリ含量が及ぼす影響は小さかった(表1)。

以上の結果から、コムギ2品種の¹³⁷Csの移行性は、土壌の交換性カリ含量が高まることで低下するが、土壌の交換性カリ含量が¹³⁷Csの移行性に及ぼす影響は品種間で異なることが示唆された。また、子実のK濃度に品種間差異が見られたことは興味深く、今後解析を進める。

表1. 子実収量と収量関連形質.

	子実収量(g/m ²)		100粒重(g)		粒数(粒/m ²)		粒数(粒/穂)	
	SK	AU	SK	AU	SK	AU	SK	AU
K0	571	526	3.55	4.02	16083	13172	27	24
K25	585	494	3.55	4.08	16054	12166	23	24
K45	608	525	3.55	4.00	17164	13111	28	25
K65	606	505	3.59	4.07	16639	13449	28	27
K	ns		ns		ns		ns	
V	**		***		***		ns	
K×V	ns		ns		ns		ns	

(注) ***, **はそれぞれ0.1%, 1.0%水準で有意であることを示す。

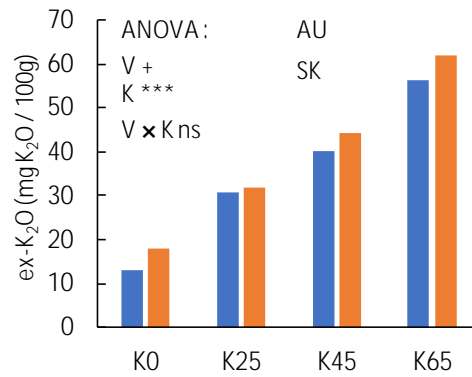


図2. 成熟期の処理区別の土壌の交換性カリ含量.

(注) 分散分析のVは品種、Kはカリを示す。***, +はそれぞれ0.1%, 10%水準で有意であることを示す。

施肥・播種後(2015年11月10日)の各処理区の土壌の交換性カリ含量はK0が25.5 ± 1.8, K25が39.1 ± 4.9, K45が52.6 ± 2.5, K65が66.8 ± 3.5 mg K₂O/100gだった。

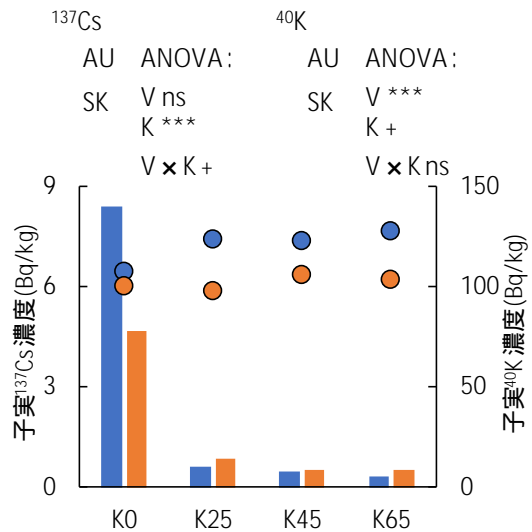


図3. 処理区別の子実の¹³⁷Cs濃度と⁴⁰K濃度.

(注) 分散分析のVは品種、Kはカリを示す。***, +はそれぞれ0.1%, 10%水準で有意であることを示す。

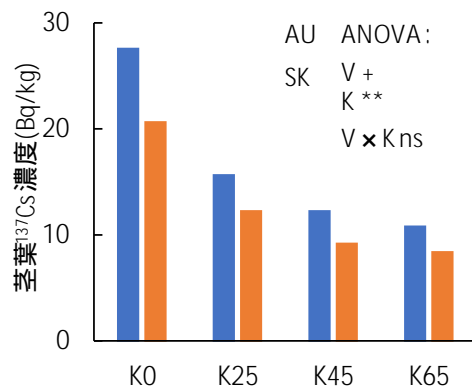


図4. 処理区別の茎葉の¹³⁷Cs濃度.

(注) 分散分析のVは品種、Kはカリを示す。**, +はそれぞれ1.0%, 10%水準で有意であることを示す。

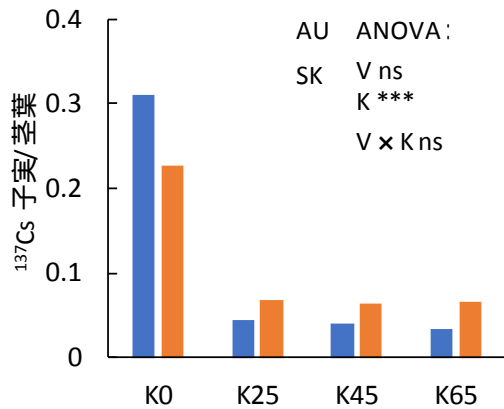


図5. 処理区別の茎葉から子実への¹³⁷Csの移行性.

(注) 分散分析のVは品種、Kはカリを示す。
***は0.1%水準で有意であることを示す。

(2) 放射性Csと他種元素の相互作用の解析
ラジオアイソトープを用いた試験では、根から地上部への⁴²Kの移行性が、いずれの処理条件においても「AU49」の方が「シロガネコムギ」よりも高いことが示された(図6)。根から地上部への¹³⁷Csの移行性に品種間差異は認められなかった。根から地上部への移行の際の⁴²Kと¹³⁷Csの選別係数(¹³⁷Csの移行性/⁴²Kの移行性)は、品種間差異は有意ではなかったものの「AU49」よりも「シロガネコムギ」の方が高い傾向にあった(「シロガネコムギ」の方が⁴²Kに対してより多くの¹³⁷Csを根から地上部に移行させていた)。これらのことから、「AU49」は地上部のK濃度を高めることで、茎葉から子実への放射性Csの移行を抑制している可能性が推察された。

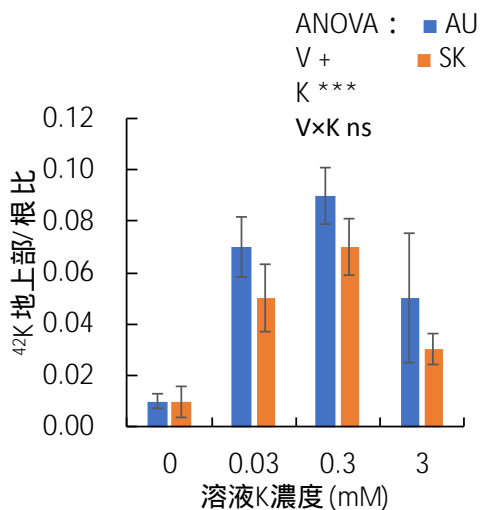


図6. ⁴²Kの地上部/根比.

(注) 分散分析のVは品種、Kはカリを示す。
***, +はそれぞれ0.1%, 10%水準で有意であることを示す。

(3) 放射性Csおよび各種元素の移行動態と関わる遺伝領域の特定に向けた遺伝子地図

の作成

両親品種と94の組換え自殖系統についてDNAを抽出した。遺伝子地図のアンカーとなる209のSSRマーカーにおいて、PCR後、アガロースゲルまたはアクリルアミドゲルにより両親間の多型調査を行ったところ、122のマーカーにおいて多型が認められた。これらのマーカーについて組換え自殖系統のDNAで多型調査を進め、122マーカーのうち77マーカーの遺伝子型が明らかになった(図7)。

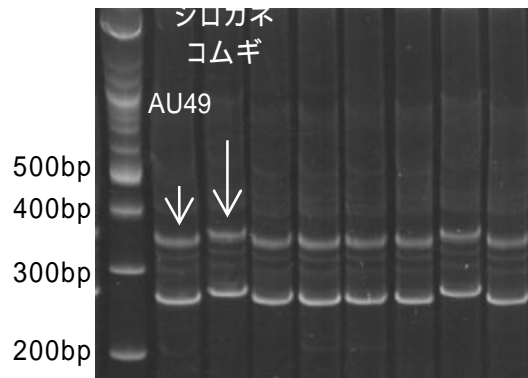


図7. 両親品種と組換え自殖系統の遺伝的多型調査 (barc0008).

(注) 分子量の大きい方が「シロガネコムギ」型、小さい方が「AU49」型であることを示す。

<引用文献>

安東郁男, 放射性セシウムに汚染された農地土壌の除染技術開発・実証, 農林水産技術研究ジャーナル, 35巻, 2012年, 32-36.

Katashi Kubo, Kazutoshi Nemoto, Hiroyuki Kobayashi, Yasushi Kuriyama, Hirohide Harada, Hisaya Matsunami, Tetsuya Eguchi, Nobuharu Kihou, Takeshi Ota, Shoji Keitoku, Takeshi Kimura, Takuro Shinano, Analyses and countermeasures for decreasing radioactive cesium in buckwheat in areas affected by the nuclear accident in 2011, Field Crops Research, 170巻, 2015年, 40-46.

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3件)

Katashi Kubo, Takashi Hirayama, Shigeto Fujimura, Tetsuya Eguchi, Naoto Nihei, Shoichiro Hamamoto, Megumi Takeuchi, Takashi Saito, Takeshi Ota, Takuro Shinano, Potassium behavior and clay mineral composition in the soil with low effectiveness of potassium application, Soil Science and PI

ant Nutrition, 査読有, 64 巻, 2018 年, 265-271. DOI: 10.1080/00380768.2017.1419830

Katashi Kubo, Shigeto Fujimura, Hiro yuki Kobayashi, Takeshi Ota, Takuro Shinano, Effect of soil exchangeable potassium content on cesium absorption and partitioning in buckwheat grown in a radioactive cesium-contaminated field, Plant Production Science, 査読有, 20 巻, 2017 年, 396-405. DOI: 10.1080/1343943X.2017.1355737

Katashi Kubo, Hiroyuki Kobayashi, Masaya Fujita, Takeshi Ota, Yasuhiro Minamiyama, Yoshiaki Watanabe, Takashi Nakajima, Takuro Shinano, Varietal differences in the absorption and partitioning of cadmium in common wheat (*Triticum aestivum* L.), Environmental and Experimental Botany, 査読有, 124 巻, 2016 年, 79-88. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2015.12.007

[学会発表](計 8 件)

久保堅司, 小林浩幸, 高木恭子, 松波寿弥, 江口哲也, 太田 健, 信濃卓郎, 金雲母の施用による土壌の交換性カリ含量の持続性とそばへの放射性セシウムの移行低減効果, 日本作物学会第 245 回講演会, 2018 年.

久保堅司, ペドロジストと取り組む作物への放射性セシウム移行要因の解析, 地域レベルでの放射性セシウム移行リスク評価にむけたワークショップ(招待講演), 2017 年.

久保堅司, ソバにおける対策と問題点, 農研機構シンポジウム「放射性セシウム吸収抑制対策の今後を考える」(招待講演), 2017 年.

久保堅司, 平山 孝, 太田 健, 信濃卓郎, 物理的除染後圃場における放射性セシウムの土壌中の動態と畑作物への移行に影響する要因の解析, 日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会, 2017 年.

久保堅司, 二瓶直登, 高木恭子, 高橋義彦, 齋藤智子, 渡部ゆかり, 吉田由里江, 三森美智恵, 松波寿弥, 南山泰宏, 小林浩幸, 太田 健, 信濃卓郎, 土壌の交換性カリ含量がコムギへの放射性セシウムの移行に及ぼす影響とその品種間差異, 日本作物学会第 244 回講演会, 2017 年. Katashi Kubo, Shigeto Fujimura, Hiroyuki Kobayashi, Takeshi Ota, Takuro Shinano, Relations among soil exchangeable potassium content, soil exchangeable cesium content and cesium accumulation in buckwheat plants, 14th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (国際学会), 2017 年.

久保堅司, 平山 孝, 竹内 恵, 藤村恵人, 江口哲也, 二瓶直登, 濱本昌一郎, 齋藤隆, 太田 健, 信濃卓郎, 交換性カリ含量が高まらない土壌の特性とカリの動態, 日本土壌肥料学会 2016 年度大会, 2016 年.

久保堅司, 小林浩幸, 竹内 恵, 平山 孝, 藤村恵人, 石川哲也, 八戸真弓, 濱松潮香, 松波寿弥, 高橋義彦, 太田 健, 信濃卓郎, コムギにおける放射性セシウムの移行性 - 同一圃場でのソバとの比較 -, 日本作物学会第 242 回講演会, 2016 年.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 堅司 (KUBO KATASHI)
農研機構・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: 20446470

(2) 研究分担者

二瓶 直登 (NIHEI NAOTO)
東京大学・農学生命科学研究科(農学部)・准教授
研究者番号: 50504065

信濃 卓郎 (SHINANO TAKURO)
農研機構・東北農業研究センター 農業放射線研究センター・所長・部門長・部長・研究管理役等
研究者番号: 20235542

南山 泰宏 (MINAMIYAMA YASUHIRO)
京都教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 00463266

(3) 連携研究者

小林 浩幸 (KOBAYASHI HIROYUKI)
農研機構・農業環境変動研究センター 生物多様性研究領域・領域長
研究者番号: 70355329

松波 寿弥 (MATSUNAMI HISAYA)
農研機構・東北農業研究センター 農業放射線研究センター・グループ長
研究者番号: 8054068

(4) 研究協力者

厩田 淳史 (TORADA ATSUSHI)
ホクレン農業総合研究所・作物機能開発課・課長補佐