

水稻のカリ無施用ポット栽培において
土壌の非交換性カリ含量が玄米の放射性セシウム吸収に及ぼす影響

永井華澄・佐藤翔平¹・渡邊和弘²・新妻和敏・鈴木芳成

Effect of nonexchangeable potassium in soil on transfer of radiocesium
from soils to brown rice in pot cultivation without potassium fertilizer application

Kasumi NAGAI, Shohei SATO¹, Kazuhiro WATANABE²,
Kazutoshi NIITSUMA and Yoshinari SUZUKI

Abstract

We investigated changes in contents of exchangeable potassium (Ex-K) and nonexchangeable potassium (Nex-K) and the transfer of radiocesium to brown rice over time by growing rice in nine soils in pots with no K application. The Ex-K content in the soil decreased significantly from the first to the second year of cropping. Thereafter, it leveled off or decreased slightly. When K was depleted, the transfer factors (TFs), which measure the transfer of ¹³⁷Cs to brown rice, increased by year, at a rate that depended on the soil. Most of the soils in which TFs increased rapidly had a lower Nex-K content. The Nex-K content was correlated with the TFs, and did not change significantly during the 4 years of cropping. These results suggest that Nex-K content is an effective indicator with which to evaluate high-risk soils in which the TFs increases rapidly with decreasing Ex-K.

(Received September 30, 2021 ; Accepted March 8, 2022)

Key words : nonexchangeable potassium, radiocesium, brown rice
キーワード : 非交換性カリ、放射性セシウム、玄米

受付日 2021年9月30日、受理日 2022年3月8日

* 本研究の一部は、2020年9月、日本土壌肥料学会で発表した。

1 現会津農林事務所喜多方農業普及所

2 現県北農林事務所安達農業普及所

1 緒言

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性セシウムが飛散し、土壌から作物への放射性セシウムの移行が問題となった。土壌から玄米への放射性セシウム (^{137}Cs) の移行は、土壌中に十分な交換性カリが存在すれば玄米中 ^{137}Cs 濃度を低減できることが明らかになっており、2012 年以降カリ上乗せ施用による吸収抑制対策が実施されてきた^{2) 6)}。一方で、ここ数年、玄米において ^{137}Cs の基準値 (100Bq/kg) を超えた事例がないため、地域によっては基肥に加えてカリを上乗せすることによる吸収抑制対策が終了されつつある。そのため、今後土壌中の交換性カリの低下が懸念され、それに伴って玄米の ^{137}Cs 濃度が上昇する可能性があるものの、近年、交換性カリだけでなく非交換性カリも玄米への ^{137}Cs 移行と関連性があることが報告されている⁴⁾。

そこで、本研究では土壌中の交換性カリ含量が減少したときに玄米中の ^{137}Cs が上昇するようリスクを把握するため、水稻のカリ無施用ポット栽培を行い、交換性カリ及び非交換性カリの経年変化を調査し、玄米への ^{137}Cs 移行に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2 試験方法

(1) 供試土壌

供試土壌は、福島県内において9か所 (A、B、C、D、E、F、G、H、I) から採取した (図1)。場所は、県北3地点、県中2地点、会津2地点、相双2地点

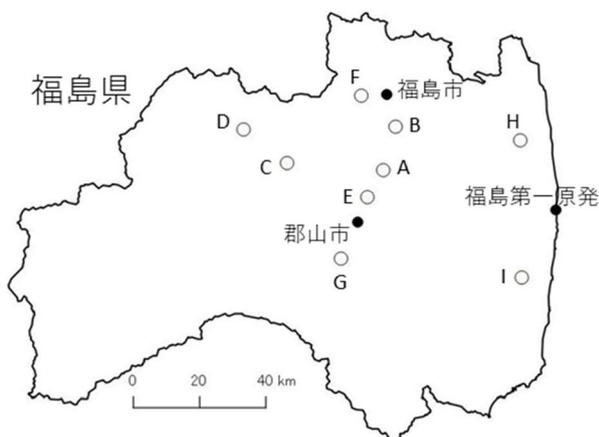


図1 土壌採取地点

である。

土壌は、2014年に農林水産省消費・安全局の調査対象となった水田圃場から、現地圃場において土壌から玄米への ^{137}Cs 移行係数が高い、収穫後の交換性カリ含量が低い等の特徴がある土壌を選抜した。土壌分類はA 灰色低地土、B 灰色台地土、C 灰色低地土、D 灰色低地土、E 赤黄色土、F 灰色低地土、G 赤黄色土、H 灰色低地土、I 灰色低地土である。

(2) 栽培方法

供試土壌を風乾・粉碎させたのち、1/2000a ワグネルポットに充填し、3反復で水稻栽培を行った。施肥量はカリ無施用、窒素 $10+2\text{g}/\text{m}^2$ 、リン酸 $10\text{g}/\text{m}^2$ とした。品種は「天のつぶ」を使用し、1ポット当たり3株 (4本/株) で移植した。同条件で栽培を2～5年継続して行った。土壌 A～E は5年 (2015～2019)、土壌 F～G は4年 (2016～2019)、土壌 H は3年 (2017～2019)、土壌 I (2018～2019) は2年、継続して栽培した。

(3) 分析方法

各年の玄米中 ^{137}Cs 濃度、収穫後土壌中 ^{137}Cs 濃度、収穫後土壌中交換性カリ含量、収穫後土壌中非交換性カリ含量を測定した。なお、カリ含量は酸化物 (K_2O) 表示とした。玄米中及び土壌中の ^{137}Cs 濃度の測定にはゲルマニウム半導体検出器を使用した。カリ測定は原子吸光光度計を使用した。土壌中非交換性カリ抽出には1.0M熱硝酸抽出法を用いた^{1) 3)}。

3 試験結果

(1) 土壌中交換性カリ含量と玄米への放射性セシウム移行の経年変化

カリ無施用ポット栽培1年目から5年目までの土壌中交換性カリ含量は、栽培1年目から2年目で大きく減少した (図2)。その後は土壌Hを除き、1～6 mg/100g 乾土の低い範囲で横ばい又はやや減少傾向に推移した。

カリ無施用ポット栽培1年目から5年目までの土壌中から玄米への ^{137}Cs 移行係数は年々上昇した (図3)。しかし、上昇の程度は土壌によって異なって

おり、ゆるやかな増加が見られた土壌と、急激な増加が見られた土壌があった。また、既に明らかにされているとおり^{2) 6)}、本試験でも交換性カリ含量と移行係数の間には高い負の関係性が見られた(データ省略)。

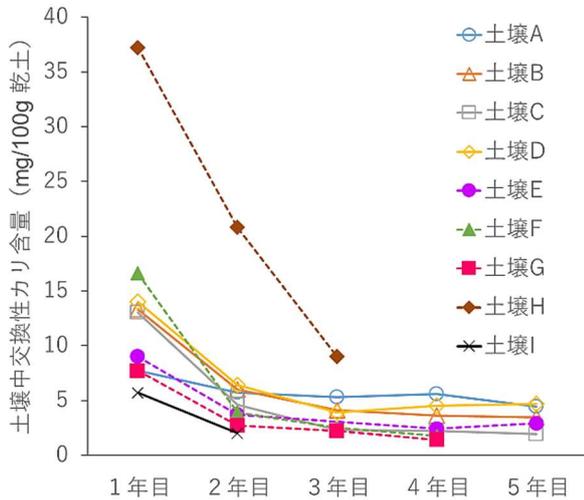


図2 水稻カリ無施用ポット栽培における収穫後土壌中交換性カリ含量の年次推移

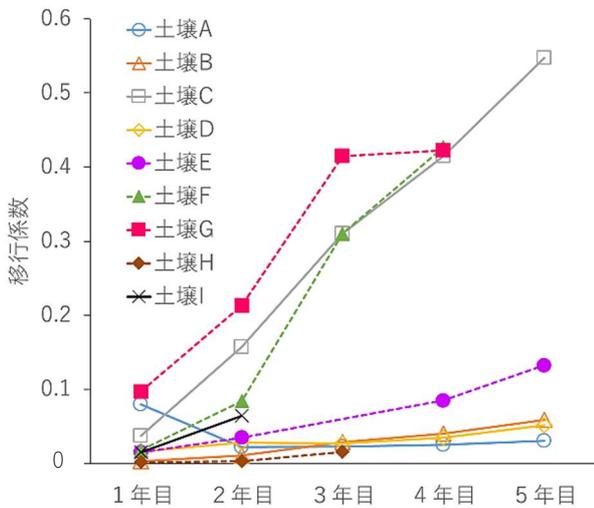


図3 水稻カリ無施用ポット栽培における移行係数の年次推移

(2) 非交換性カリと移行係数の関係

各年の収穫後の土壌の非交換性カリ含量と移行係数には負の関係性が見られ、非交換性カリ含量が減少するほど、移行係数は上昇した(図4)。また、交換性カリ含量と非交換性カリ含量の両変数の影響を検討するため、エクセル統計(BellCurve)で重回帰分析を行ったところ、回帰式は1%水準で有意であ

り、両変数とも5%水準で有意な相関が見られた。交換性カリ及び非交換性カリの標準偏回帰係数はそれぞれ-0.41、-0.49であり、非交換性カリ含量の影響がやや大きかった。また、交換性カリ含量と非交換性カリ含量の間に相関は見られなかった(データ省略)。

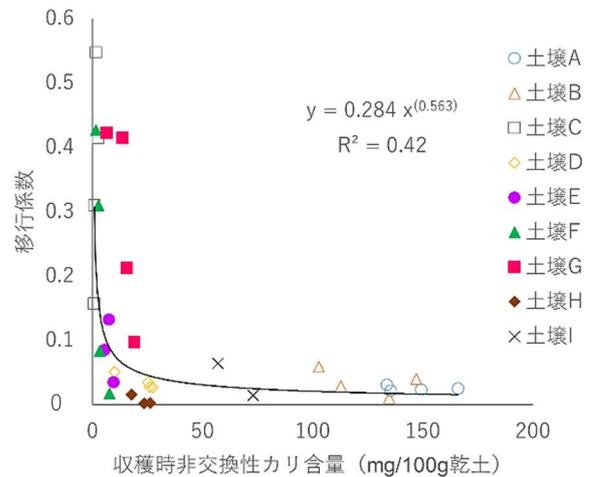


図4 水稻カリ無施用ポット栽培における非交換性カリ含量と移行係数の関係

また、非交換性カリ含量の年次推移は非交換性カリ含量が100mg/100g乾土以上の高いもので、ややばらつきが見られたが、おおむね横ばいからやや減少傾向に推移した(図5)。

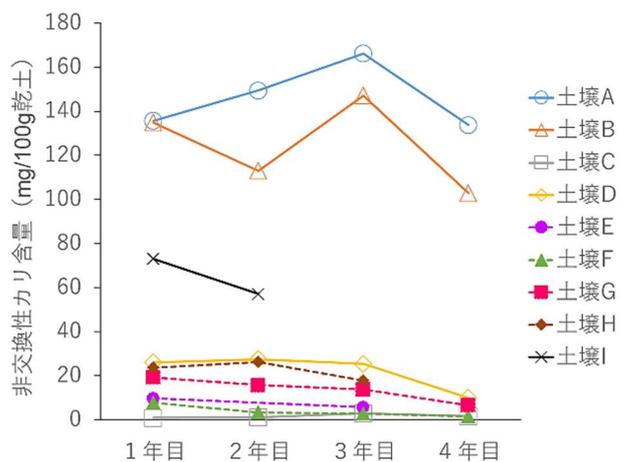


図5 水稻カリ無施用ポット栽培における非交換性カリ含量の年次推移

4 考 察

水稻のカリ無施用栽培において、土壌中の交換性

カリ含量は栽培1年目から2年目で大きく減少し、その後は1~6mg/100g 乾土の低い範囲で横ばい又はやや減少傾向に推移した。なお土壌Hは栽培2年目から3年目にかけても大きく減少していた。これは土壌Hの栽培始めの土壌中交換性カリ含量が、その他の土壌よりも高かったため、減少するのに時間を要したものと考えられる。カリ無施用ポット栽培を継続することでカリ減耗状態となった場合、玄米への¹³⁷Cs移行係数は年々上昇した。しかし、上昇の程度は土壌によって異なり、ゆるやかな増加が見られた土壌と急激な増加が見られた土壌があった。土壌中の交換性カリ含量が1~6mg/100g 乾土という狭い低範囲の中で横ばい又はやや減少傾向に推移しているにも関わらず、移行係数の上昇程度に大きな差があったことから、移行係数の上昇程度には交換性カリ含量とは別の要因も関わることが考えられた。

近年、交換性カリだけでなく非交換性カリも玄米への¹³⁷Cs移行と関連性があることが報告されている⁴⁾。そこで、土壌中の非交換性カリ含量に着目し、カリ無施用ポット栽培における各年の収穫後の土壌の非交換性カリ含量を調査した。その結果、急激な移行係数の増加が見られた土壌はそのほとんどが他土壌と比較して非交換性カリ含量が低く、非交換性カリ含量と玄米への¹³⁷Cs移行係数の間には負の関係が見られた。植物による吸収等に伴って土壌中の水溶性や交換性カリが減耗した後は、雲母とその風化産物の層間、あるいは長石の結晶格子内に存在する非交換性カリも植物に供給される⁵⁾。これらのことから、非交換性カリがカリの供給源となり、玄米への¹³⁷Cs移行を抑制している可能性が考えられた。ただし、土壌D及びHのように非交換性カリ含量が低いにも係わらず移行係数の急激な増加が見られない土壌があった。土壌Hは栽培初期の交換性カリ含量が高く、3年間のカリ無施用ポット栽培の中でも交換性カリ含量が下がりきっていない挙動を示している(図2)。そのために移行係数が上昇していなものと考えられ、今後交換性カリ含量がさらに下がれば移行係数が急上昇する可能性があり、引き続き調査が必要である。土壌Dの移行係数が急増しない要因については、交換性カリ含量及び非交換性

カリ含量から説明はできなかった。その要因については今後解析が必要である。非交換性カリ含量の年次推移は、おおむね横ばいからやや減少傾向であり、4年間の栽培の中で大きな変動はなかった。

以上のことから、非交換性カリ含量は交換性カリの減少に伴い、急激に移行係数が上昇するようなりスクの高い土壌を判別する有効な指標のひとつとなる可能性があると考えられる。今後、非交換性カリ含量を指標とするには、相関から外れるような土壌の要因解析を進めるとともに、多くの現地ほ場で様々な土壌を対象とした調査解析を進める必要があると考える。

5 摘要

水稻のカリ無施用ポット栽培において、土壌中の交換性カリ含量は栽培1年目から2年目で大きく減少し、その後は1~6mg/100g 乾土の低い範囲で横ばい又はやや減少傾向に推移した。このようにカリ無施用ポット栽培でカリ減耗状態となった場合、玄米への¹³⁷Cs移行係数は年々上昇した。しかし、上昇の程度は土壌によって異なった。急激な移行係数の増加が見られた土壌はそのほとんどが他土壌と比較して非交換性カリ含量が低く、非交換性カリ含量と玄米への¹³⁷Cs移行係数の間には相関が見られた。このことから、非交換性カリがカリの供給源となり、玄米への¹³⁷Cs移行を抑制している可能性が考えられた。なお、非交換性カリ含量の年次推移は、4年間の栽培の中で大きな変動はなく、安定的であった。これらのことから、非交換性カリ含量は交換性カリの減少に伴い、急激に移行係数が上昇するようなりスクの高い土壌を判別する有効な指標のひとつとなる可能性があると考えられる。

引用文献

- 1) P.A.Helmke, D.L.Sparks. 2000. Potassium, Rubidium, and Cesium. Methods of Soil Analysis Part3.Chemical Method. SSSA Book Series. No.5, pp.559-562.
- 2) 加藤直人・伊藤純雄・木方展治・藤村恵人・池羽正清・宮崎成生・斎藤幸雄・廣岡政義. 2012. 水田土壌のカリウム供給力の向上による玄米の放

射性セシウム濃度の低減. 研究成果情報 (農研機構・放射能対策技術)

https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/narc/2011/a00a0_01_67.html

- 3) Kitagawa, Y. Yanai, J. and Nakao, A. 2018. Evaluation of nonexchangeable potassium content of agricultural soils in Japan by the boiling HNO₃ extraction method in comparison with exchangeable potassium. *Soil Sci. Plant Nutri.* 64(1) : 116-122.
- 4) Kurokawa, K. Nakao, A. Wakabayashi, S. Fujimura, S. Eguchi, T. Matsunami, H. and Yanai, J. 2020. Advanced approach for screening soil with a low radiocesium transfer to brown rice in Fukushima based on exchangeable and nonexchangeable potassium. *Sci Total Environ.* 743 : 140458.
- 5) 森塚直樹. 2009. 日本の農耕地土壌のカリウムの形態. *日本土壤肥料科学雑誌*, 80(1) : 80-88.
- 6) 太田健. 2014. 水稻の放射性セシウム吸収抑制対策. *日本土壤肥料科学雑誌*. 85(2) : 90-93.

