

水稻栽培における籾殻くん炭の塩化カリ代替利用による
放射性セシウム吸収抑制効果*

浅枝諭史・三本菅猛・久保堅司¹・脇坂裕昭²・齋藤隆³

Effect of rice husk biochar alternative for potassium chloride on radioactive cesium
uptake by paddy rice*

ASAEDA Satoshi, SANBONSUGE Takeshi, KUBO Katashi¹, WAKIZAKA Hiroaki²
and SAITO Takashi³

Abstract

We investigated the effect of rice husk biochar alternative for potassium chloride on radioactive cesium uptake by paddy rice in pot and field experiments. In the pot experiment, applications of Rice husk biochar increased contents of exchangeable potassium after cultivation as well as applications of potassium chloride, indicating that rice husk biochar supplied potassium. The increase in contents of Ex-K by rice husk biochar tended to decrease the uptake of radioactive cesium, and its effect was equal to or greater than that of potassium chloride. In the field experiment, the effect of Rice husk biochar application on contents of Ex-K remained like to that of potassium chloride application, and rice yields were similar. These results indicate that rice husk biochar has an effective substitute for potassium chloride in paddy rice.

(Received October 31, 2023 ; Accepted March 29, 2024)

Key words : paddy rice, radio cesium, rice husk biochar, potassium chloride
キーワード : 水稻、放射性セシウム、籾殻くん炭、塩化カリ

受付日 2023年10月31日、受理日 2024年3月29日

* 本研究の一部は、2022年9月、日本土壌肥料学会東京大会で発表した。

1 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

2 ヤンマーエネルギーシステム株式会社

3 現福島県農林水産部農業振興課

1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、農地には放射性セシウム (Cs) が降下し、土壌から作物への放射性 Cs の吸収を抑制することが必要となった。土壌から玄米への放射性 Cs 吸収は、土壌中に十分な交換性カリ含量があれば抑制できることが明らかとなり、水稻等では、塩化カリ肥料によるカリウム上乘せ施用が実施されている¹⁾。

事故後、福島県浜通り地域を中心に避難指示区域が設けられ、年間の被ばく線量が高い帰還困難区域地域を除いて順次解除され、営農再開が進みつつある³⁾。それらの営農再開地域では、カントリーエレベーターが数基稼働し、将来的に施設から、籾殻が大量に発生することが想定される。

近年、籾殻を利用した発電システムが開発され⁴⁾、発電とともに発生する籾殻くん炭は、一定量のカリウムを含むことが報告されており⁵⁾、塩化カリの代替となるカリ供給資材として期待される。

そこで本研究では、ポット試験及びほ場試験により、籾殻くん炭の塩化カリ代替利用によるカリ供給及び放射性 Cs 吸収抑制効果を検討した。

2 試験方法

(1) ポット試験

福島県双葉郡の2つの町の表土剥ぎ及び客土による除染作業を実施した水田土壌 (A 町及び B 町、いずれも灰色低地土) を用いてポット試験を行った。B 町は A 町と比較して、交換性カリ含量と CEC が高い傾向にあり、A 町は未作付ほ場、B 町は1作目終了後から採取した (表1)。試験区は、無カリ区及び、塩化カリと籾殻くん炭の施用による K₂O 有効成分量が 10g/m²、30g/m² の区を設置し (表2)、反復数は3とした。供試作物は水稻 (コシヒカリ) とし、2021年6月3日にポット当たり1株 (4本/

株) 移植し、10月21日に収穫した。全ての区には、N-P₂O₅=12-12 g/m² を化成肥料で基肥とし、1/5000a ワグネルポットに風乾土壌 3.2kg を充填して栽培した。N 分は硫安、P₂O₅ 分は過リン酸石灰、K₂O 分は塩化カリ又は籾殻くん炭を施用した。使用した籾殻くん炭は、籾殻ガス化発電システム (ヤンマーエネルギーシステム) により、900~1000℃ の条件で発電した際の副産物を使用した。

供試した籾殻くん炭の成分量は、105℃で24時間燃焼した水分率は60%、JIS M8813 の試験方法で得られた全炭素含量は32.7%、500℃灰化試料を酸溶解して得られた全カリウム含量は1.06%であった

(表3)。籾殻くん炭のカリ溶出率は、水100 mL に本試験と同じ条件で作られた籾殻くん炭1g を添加し、1時間攪拌した後、孔径0.2 μm でろ過し、原子吸光度計で測定して得られた既報値94%を用いて⁶⁾、施肥設計を行った。

(2) ほ場試験

福島県双葉郡 B 町のポット試験で用いた土壌を採取した水田において、ほ場試験を行った。供試作物は水稻 (コシヒカリ) とし、2021年5月20日に栽植密度22.2株/m²で移植した。試験区は、K₂O 有効成分量が15kg/10a となるように、塩化カリを施用したカリ15区 (塩化カリ施用量25kg/10a)、籾殻くん炭を施用したくん炭15区 (現物施用量3750kg/10a) を設けて、9m² (3m×3m) のプロットを3反復設置した。各プロットは波板を用いて、表面での養分移動を制限した。籾殻くん炭はポット試験と同じものを供試した。両区に N-P₂O₅=6-8kg/10a を化成肥料で基肥とし、2021年5月17日に化成肥料及び籾殻くん炭を施肥した。

土壌は施肥前 (5月7日)、移植日 (5月20日)、

表1 ポット試験における施肥前土壌の特徴

土壌	交換性塩基 (mg/100g)			可給態リン酸 (mg/100g)	CEC (cmol (+)/kg)	全炭素 (g/kg)	交換性 ¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg)	除染後のほ場管理
	カリ	石灰	苦土						
A町	24.9	101	20.2	5.6	9.8	13.4	93	970	未作付 (除草のための耕起のみ)
B町	50.1	116	22.9	4.8	12.3	14.2	91	850	水稻作付1年目

乾土重量当たりの数値

表2 ポット試験における試験区の概要

区名	塩化カリ施用量 (g/m ²)	籾殻くん炭施用量 (g 乾物/m ²)	K ₂ O 成分量 (g/m ²)	K ₂ O 有効成分量 (g/m ²)
無カリ	-	-	0	0
塩化カリ10	17	-	10	10
塩化カリ30	50	-	30	30
くん炭10	-	1000	11	10
くん炭30	-	3000	32	30

各資材のK₂O有効成分量は、塩化カリは100%、籾殻くん炭は94%で算出

表3 籾殻くん炭の成分量

水分率 (%)	pH	CEC (cmol(+)/kg)	C (%)	N (%)	K ₂ O (%)
60	9.8	18.1	32.7	0.22	1.06

幼穂形成期（7月20日）、出穂期（8月12日）、成熟（収穫）期（9月24日）に、深さ0-15cmで採取し、植物体は幼穂形成期以降、土壌と同日に採取した。

（3）調査項目

土壌は、40℃で乾燥後、無粉塵型自動粉碎篩分け装置（大起理化学工業、RK4Ⅱ）で粉碎し、2mm以下の試料として、¹³⁷Cs濃度及び交換性カリ含量を分析した。ポット試験の植物体は、粗玄米と茎葉にわけて乾物重、¹³⁷Cs濃度及びポット当たりの¹³⁷Cs吸収量を調査した。ほ場試験の植物体は、乾物重及び¹³⁷Cs濃度を調査し、加えて成熟期の試料は、収量構成要素も調査した。

試料中の放射性Csは、ゲルマニウム半導体測定装置（BSI Instruments）により、¹³⁷Cs濃度を測定した。なお、本試験では¹³⁷Csのみを放射性セシウムの測定対象とした。土壌中の交換性カリ含量は、1M酢酸アンモニウム溶液で抽出し、原子吸光分光光度法で測定した。土壌の分析値は全て乾土重量当たりで算出した。

3 試験結果

（1）ポット試験

図1に栽培後の土壌中交換性カリ含量を示した。A町土壌では、塩化カリ及びくん炭を施用した区の栽培後土壌中交換性カリ含量は、無カリ区の値より有意に増加した。B町土壌では、塩化カリ及びくん炭のカリ施用量30g/m²区の栽培後土壌中交換性カリ含量は、無カリ区よりも有意に増加した。

図2に栽培後の土壌中交換性カリ含量と植物体の¹³⁷Cs移行係数の関係を示した。栽培後交換性カリ含量と粗玄米あるいは茎葉の移行係数の逆数との間に有意な相関関係が認められた。栽培後の土壌中交換性カリ含量が同じ場合、塩化カリ施用よりも籾殻くん炭施用の方が、移行係数は低かった。

地上部の¹³⁷Cs吸収量は、A町土壌では、同じカリ施肥量30g/m²の塩化カリ区よりもくん炭区が有意に減少し、B町土壌では、同じカリ施肥量の塩化カリ区よりもくん炭区が有意に減少した（図3）。

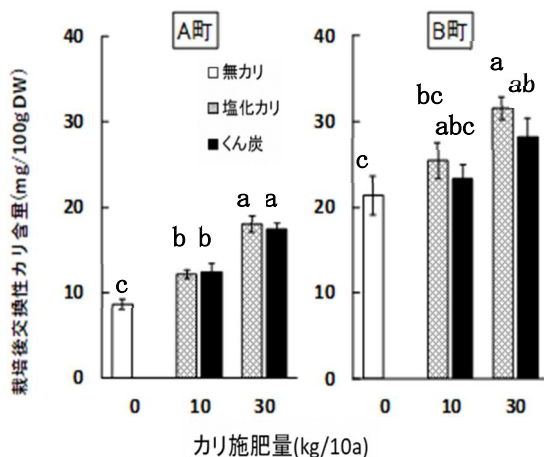


図1 籾殻くん炭施用による交換性カリ含量の変化
エラーバーは標準偏差を示す
異なる文字間はTukey法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す

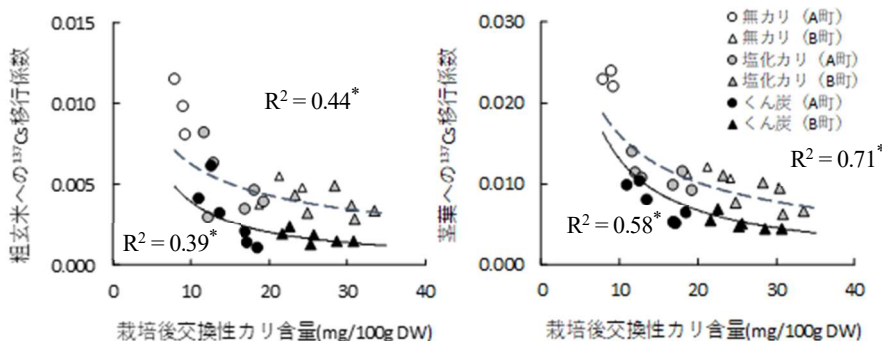


図2 ポット試験における栽培後交換性カリ含量と植物体への¹³⁷Cs移行係数の関係
移行係数は植物体¹³⁷Cs濃度 (Bq/kg) / 土壌中¹³⁷Cs濃度 (Bq/kg) より算出
点線は無カリ区と塩化カリ区、実線は無カリ区とくん炭区の交換性カリ含量と移行係数の逆数の直線回帰式を作成してから算出
*は5%水準で有意であることを示す

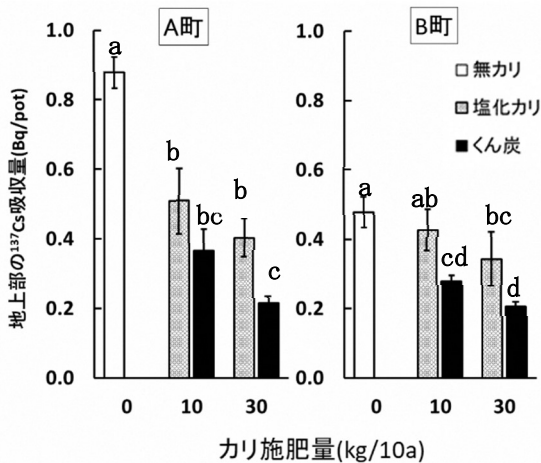


図3 ポット試験における地上部¹³⁷Cs吸収量
粗玄米及び茎葉の乾物重に¹³⁷Cs濃度を乗じて算出
エラーバーは標準偏差を示す
異なる文字間はTukey法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す

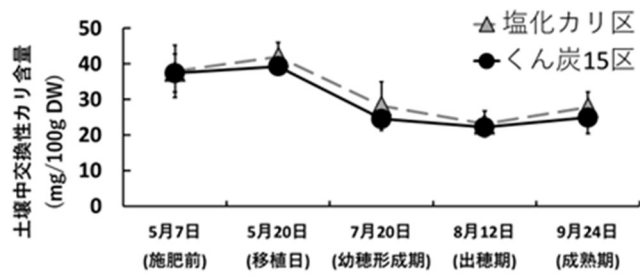


図4 ほ場試験における栽培期間中の交換性カリ含量
エラーバーは標準偏差を示す
t検定により、各採取時期における両区間に有意差なし ($p > 0.05$)

(2) ほ場試験

図4に栽培期間中交換性カリ含量の推移を示した。両区の各時期における交換性カリ含量の差は判然としなかった。

表4に植物体の¹³⁷Cs移行係数を示した。7月20日の植物体への¹³⁷Cs移行係数は、塩化カリ15区と比較してくん炭15区で低い値を示した、その他の時期における移行係数の差は判然としなかった。

表5に水稻成熟期の収量構成要素を示した。両区の収量及び収量構成要素の間に差は判然としなかった。

表4 ほ場試験における植物体への¹³⁷Cs吸収

区名	¹³⁷ Cs移行係数			
	7月20日		8月12日	
	茎葉	茎葉	茎葉	玄米
塩化カリ15区	7.7×10^{-3}	5.2×10^{-3}	1.1×10^{-2}	1.8×10^{-3}
くん炭15区	5.4×10^{-3}	6.7×10^{-3}	8.7×10^{-3}	1.7×10^{-3}

数値は平均値を示す
移行係数は植物体¹³⁷Cs濃度 (Bq/kg) / 土壤中¹³⁷Cs濃度 (Bq/kg) より算出

表5 ほ場試験における収量構成要素及び収量

区名	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	干粒重 (g)	精玄米重 (kg/10a)
塩化カリ15区	343 ± 24	85.5 ± 6.2	76.7	22.2 ± 0.2	492 ± 40
くん炭15区	407 ± 45	78.6 ± 5.4	76.9	22.1 ± 0.1	526 ± 52

※数値は平均値±標準偏差を示す

4 考察

(1) ポット試験

A町土壌では、塩化カリ及びくん炭を施用した区では無カリ区と比較して、B町土壌では、塩化カリ及びくん炭のカリ施用量30g/m²区では無カリ区と比較して、有意に交換性カリ含量が増加したことから、いずれの土壌においても籾殻くん炭のカリ供給が期待できると考えられた。

栽培後の土壌中交換性カリ含量が同じ場合、塩化カリ区よりも籾殻くん炭区の粗玄米及び茎葉の移行係数が低下した。本試験では、籾殻くん炭のカリ成分量、水抽出されるカリウムの割合をカリ有効率として、塩化カリとカリの有効成分量が同等となるように施用量を設定したが、籾殻くん炭からのカリ供給が期待できること、また放射性セシウムの吸収を抑制できることが明らかとなった。

一方で、籾殻くん炭のカリウム含量やカリ溶出率は、熱分解する際の温度条件によって異なることが報告されている⁷⁾。一般的なくん炭は350~500℃の条件で生成することから²⁾、籾殻くん炭の適切なカリ施用量を決める場合、使用する籾殻くん炭のカリウム含量や水抽出されるカリウムの割合を把握することが必要と考えられた。

(2) ほ場試験

籾殻くん炭と慣行栽培(塩化カリ)のカリは同様の推移していたことから、現地ほ場においても塩化カリと同様にカリ供給できることが考えられた。本試験では、塩化カリのK₂O有効成分量と同じになるよう籾殻くん炭の水分率、カリ成分量、カリ有効率に基づいて現物施用量を3750kg/10aとしたが、塩化カリと同等量、供給できていると推察された。

また、籾殻くん炭と慣行栽培の水稻収量は同等であり、生育への負の影響はないことが確認された。

以上より、籾殻ガス化発電システムにより生成された籾殻くん炭は、営農時における塩化カリの代替として、カリ供給効果を示し、放射性Cs吸収抑制に利用できることが明らかとなった。

謝辞

本研究の調査に当たり、市町村担当者、相双農林事務所双葉農業普及所及び生産者の方々には多大なる協力をいただきました。ここにあらためてお礼申

上げます。

引用文献

- 1) 太田健. 2014. 水稲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
- 2) 土壤改良用バイオ炭の施用目安 初版. 日本バイオ炭普及会
<https://biochar.jp/cms/wp-content/uploads/2019/09/seyoumeyasu.pdf>
- 3) 福島県. ふくしま復興情報. 避難区域の変遷について.
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/cat01-more.html>
- 4) ヤンマーホールディングス株式会社. 2019.
<https://www.yanmar.com/jp/energy/news/2019/11/14/64235.html>
- 5) 脇坂裕昭・鳴海良成・赤坂太司・松本健. 2019. 結晶化を抑制したガス化技術による籾殻の利活用. 第15回バイオマス科学会議 p. 27-28.
- 6) Ryoya Kunieda, Kyohei Murase, Aine Furuta, Fumiya Machino, Hiroaki Wakizaka and Toru Nonami. 2022. Metal adsorption characteristics of rice husk charcoal carbonized in a gasifier. 木質炭化学会誌 18(1) 2-12
- 7) Ifeoma Monica Nwajiaku, John Seye Olanrewaju, Kuniaki Sato, Takeo Tokunari, Shigeru Kitano and Tsugiyuki Masunaga. 2018. Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 7:269-276