

水稲におけるゼオライトとカリ資材の放射性セシウム吸収抑制効果

Inhibition of radiocesium absorption into rice plant by application of zeolite and potassium materials

作物園芸部 佐久間祐樹 佐藤 誠

2011年に比較的高い放射性Csを含む玄米が生産された水田において、ゼオライトとカリ資材の水稲における放射性Cs吸収抑制効果を土壤中の交換性カリ含量の面から検討した。ゼオライトは施用量が増加するほど放射性Cs吸収抑制効果は高くなるが、施用1年目の効果はCs吸着効果よりゼオライトに含まれるカリによる抑制効果の方が大きいと推察された。カリ資材では、同じカリ成分量を施用した場合、ケイ酸カリより塩化カリの方が放射性Cs吸収抑制効果は高かった。生育期間中の土壤中の交換性カリ含量と玄米の放射性Cs濃度には高い相関が認められた。また、これら資材の水稲の生育、品質に対する影響は認められなかった。

キーワード：放射性セシウム、ゼオライト、ケイ酸カリ、塩化カリ、水稲

1 緒言

2011年3月東京電力福島第一原子力発電所事故により福島県内に拡散した放射性セシウムが玄米に移行し暫定規制値を超える事案が発生した。県内では放射性Csの吸収抑制対策としてゼオライトやカリ資材が広く用いられているが、現地水田においてこれらを試験した報告は少ない。そこで、平成23年に比較的高い放射性Csを含む玄米が検出された阿武隈山系の水田において、平成24年4月から10月にゼオライトとカリ資材による土壤中の交換性カリ含量の変化、放射性Csの吸収抑制効果及び水稲生育に及ぼす影響を調査した。

2 試験方法

(1) 吸着資材の効果 (試験1)

放射性Cs吸着資材として広く用いられているゼオライトの水稲における放射性Cs吸収抑制効果について試験した。CECが11から14meq/100gの細粒グライ土の水田において、水稲品種コシヒカリを用いて栽培試験を行った。施肥は農家慣行としN-P₂O₅-K₂O:0.52-1.28-0.40kg/aとした。前作の稲藁はほ場から持ち出した。試験は3筆の水田を用い、1区48～63m²とし、1ほ場を1ブロックの3反復とした。処理区の設定は表1のとおり。ゼオライトは福島市飯坂産を用いた。ゼオライトのカリ保証成分は2.2%であった。ケイ酸カリの施用量は、作付け前に土壤中の交換性カリ含量を測定し、作土深15cmの交換性カリ含量25mg/100gを目標に施用したカリがすべて交換性カリになるものとして算出した。各資材とも4月に施用し、施用後耕起代かきにより土壌に混和した。

調査は、7月5日、7月25日、8月17日に稲体10株の地上部10cm以上を採取し、成熟期に地上部10cmから50株刈り取り、稲体及び玄米の放射性Cs濃度をゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメーターにより測定

表1 試験1の区の配置

区名	ゼオライト (kg/a)	ケイ酸カリ (kg/a)
ゼオライト50	50	-
ゼオライト100	100	-
ケイ酸カリ 併用	- 100	15.2～16.7 15.9～16.7
無処理	-	-

した。¹³⁴Csは一部検出限界以下であったため、¹³⁷Csのみ解析に用いた。測定は8月から10月に行い、減衰補正は行わなかった。

資材投入前(4月6日)、5月23日、6月15日、7月6日、7月25日、8月17日及び収穫時に土壌を採取し、酢酸アンモニウム抽出法で抽出し原子吸光分析装置(アジレント・テクノロジー株式会社AA280FS)により交換性カリ含量を測定した。

生育期間の草丈、茎数、成熟期の収量、品質を調査した。草丈、茎数は各区10株を調査し、収量品質調査は各区50株を収穫し乾燥調製後調査に供した。タンパク質含量はサタケRCTA-11a、味度値は東洋精米機製作所MA-90B、等級はJA郡山農産物検査機関による鑑定で行った。

(2) カリ資材の効果 (試験2)

水稲の吸収抑制資材として主に用いられている塩化カリ、とケイ酸カリの放射性Cs吸収抑制効果について試験した。試験1の水田の一部を用いて、1区63m²の2反復とした。ケイ酸カリ、塩化カリをそれぞれ土壤中の交換性カリ25mg/100gを目標とし、ケイ酸カリ15.2、16.5kg/a、塩化カリは両区とも5.2kg/aを4月に施用した。また、慣行施肥のみの無処理区を設置した。調査は試験1と同様とした。

(3) 塩化カリ追肥の効果 (試験3)

CECの低い水田では流亡による交換性カリの減少が予想さ

れることから、塩化カリ中間追肥の放射性Cs吸収抑制効果を調査した。試験1の無処理区、併用区、試験2のケイ酸カリ区、塩化カリ区の一部6㎡を波板で区切り追肥区とした。塩化カリの追肥時期は一般のカリ追肥時期を参考に7月10日(出穂34日前)、施用量は一般の追肥施肥量の約3倍である1.0kg/aとした。調査は試験1と同様とした。

3 試験結果

(1) 吸着資材の効果(試験1)

ゼオライトは土壤中の交換性カリ含量を増加させ、ゼオライトの施用量が多いほど交換性カリ含量は増加した(表2)。併用区の交換性カリ含量が最も高く推移した。

ゼオライト施用による玄米放射性Cs濃度はゼオライト50区で無処理区の50%程度、ゼオライト100区で36%であった(表3)。ゼオライトとケイ酸カリを併用した区が最も放射性Csの吸収を抑制し、無処理区の28%程度であった。

(2) カリ資材の効果(試験2)

塩化カリの土壤中の交換性カリ含量は5月下旬から7月上旬まで高く推移し、その後急激に低下した(表4)。ケイ酸カリの土壤中の交換性カリ含量は無処理区をやや上回る程度であった。いずれも収穫時の土壤中の交換性カリ含量

は7mg/100g以下まで減少した。

稲体及び玄米の放射性Cs吸収抑制効果はケイ酸カリより塩化カリ区が高く、塩化カリ区は玄米の放射性Cs濃度を無処理区の19%まで抑制した(表5)。

(3) 追肥の効果(試験3)

塩化カリの追肥により、玄米の放射性Cs濃度は各区とも追肥なしと比較して約50%程度に抑制された(図1)。基肥と追肥に塩化カリを施用した区が最も放射性Csの吸収を抑制した。

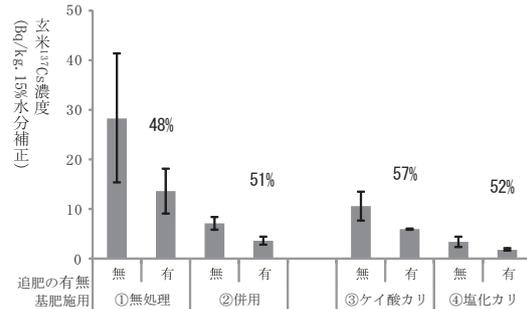


図1 塩化カリ追肥による玄米の放射性セシウム吸収抑制効果
図内の数値は対応する追肥なし区に対する比率、エラーバーは標準偏差を表す。
①、②は試験1の処理区に設置、3反復、③、④は試験2の処理区に設置、2反復

表2 土壤中交換性カリ含量の推移 (K₂O mg/100g)

区名	資材投入前	5月23日	6月15日	7月6日	7月25日	8月17日	収穫時
ゼオライト50	3.7±0.6	11.5±2.8	10.9±1.9	9.6±2.2	6.6±1.5	5.0±1.1	4.1±1.0
ゼオライト100	3.7±0.5	13.5±1.8	14.8±1.2	11.7±1.9	10.3±4.2	7.1±1.1	4.9±0.8
ケイ酸カリ	3.6±0.5	8.1±0.7	11.6±2.8	9.2±1.8	5.4±1.5	5.5±1.5	4.0±1.0
併用	3.3±0.5	15.6±3.3	17.8±7.4	23.1±1.7	13.2±0.5	12.3±1.5	7.5±0.6
無処理	3.4±0.5	6.7±1.1	7.9±1.4	6.7±1.1	3.7±0.6	2.9±0.6	3.0±0.6
ほ場間区間	**	**	n. s.	**	n. s.	n. s.	**
	n. s.	**	n. s.	**	**	**	**

値は平均値±標準偏差
分散分析により+は10%、*は5%、**は1%で有意差あり。

表3 稲地上部と玄米の¹³⁷Cs吸収抑制効果

区名	7月5日地上部		7月25日地上部		穂揃い期地上部		玄米	
	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw)	無処理区比 (%)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw)	無処理区比 (%)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw)	無処理区比 (%)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, 15%水分補正)	無処理区比 (%)
ゼオライト50	42.6±25.0	46±10.9	64.7±21.8	62±28.1	48.0±23.3	55±6.7	14.5±7.2	50±6.5
ゼオライト100	37.0±21.3	40±5.4	32.2±12.3	29±9.1	31.8±5.5	42±12.1	10.0±3.5	36±2.2
ケイ酸カリ	45.3±8.7	56±11.5	71.1±22.9	64±7.1	48.2±10.3	61±11.2	14.6±6.1	52±4.4
併用	33.0±6.6	43±15.0	32.6±7.9	30±3.7	24.5±5.6	33±14.7	7.1±1.3	28±6.9
無処理	87.9±38.2	100	112.4±38.7	100	84.4±33.4	100	28.2±11.7	100
ほ場間区間	**	*	*	*	+	*	**	**
	*	*	**	*	*	*	**	**

値は平均値±標準偏差
無処理区比はほ場毎の無処理区比を平均した。
玄米の¹³⁷Cs濃度は、玄米水分15%で換算した。
分散分析により+は10%、*は5%、**は1%で有意差あり。
1ほ場内に2区配置している区は平均値を分析に用いた。

表4 土壤中交換性カリ含量の推移 (K₂O mg/100g)

区名	資材投入前	5月23日	6月15日	7月6日	7月25日	8月17日	収穫時
ケイ酸カリ	3.8±0.8	8.5±0.7	9.4±0.0	9.8±1.3	5.9±1.0	6.4±1.4	5.2±0.4
塩化カリ	3.9±0.1	16.2±0.5	22.1±3.6	18.2±3.6	12.2±4.3	8.5±2.5	6.8±0.2
無処理	3.6±0.2	7.3±1.6	9.1±2.0	7.3±1.0	3.5±0.0	3.0±0.4	3.5±0.1

値は平均値±標準偏差

表5 稲地上部と玄米の¹³⁷Cs吸収抑制効果

区名	7月5日地上部		7月25日地上部		穂揃い期地上部		玄米	
	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw)	無処理区比 (%)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw)	無処理区比 (%)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw)	無処理区比 (%)	¹³⁷ Cs濃度 (Bq/kg, Dw) 15%水分補正	無処理区比 (%)
ケイ酸カリ	41.5 ± 7.6	67	49.0 ± 4.1	62	35.7 ± 8.5	64	10.7 ± 2.9	58
塩化カリ	13.1 ± 3.1	21	12.9 ± 4.3	16	15.1 ± 5.1	27	3.5 ± 1.0	19
無処理	62.0 ± 13.4	100	78.6 ± 0.6	100	56.1 ± 20.7	100	18.6 ± 8.1	100

値は平均値±標準偏差

玄米の¹³⁷Cs濃度は、玄米水分15%で換算した。

(4) 土壌中の交換性カリ含量と玄米中放射性Cs濃度の関係

栽培期間中の各時期の土壌中の交換性カリ含量と玄米中放射性Cs濃度に高い相関が認められた(表6)。図2に収穫時の交換性カリ含量と玄米中¹³⁷Cs濃度との関係を示す。試験1のゼオライト50区、100区を含めても高い相関が認められた。

表6 生育期間中の土壌中交換性カリ含量と玄米中¹³⁷Cs濃度の関係

	5月23日	6月15日	7月6日	7月25日	8月17日	収穫時
追肥なし	ρ -0.88	-0.71	-0.89	-0.84	-0.87	-0.89
n	21	21	21	21	21	21
追肥あり	ρ			-0.92	-0.80	-0.93
n				12	12	12
すべて	ρ			-0.84	-0.83	-0.91
n				33	33	33

※日付は土壌を採取した月日を表す。

※ρはスピアマンの順位相関係数

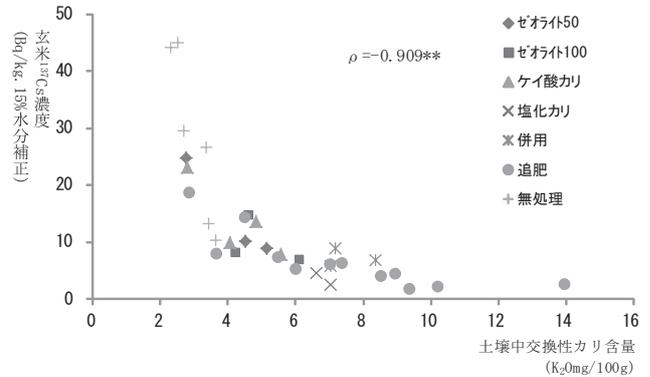


図2 収穫時土壌中交換性カリ含量と玄米中¹³⁷Cs濃度の関係

(5) ゼオライト、カリ資材の食味に及ぼす影響

試験1では7月上旬までゼオライト100区の生育が無処理区より劣り(表7)、観察でも差が認められた。収量、品質には有意な差は認められなかった(表8)。

試験2では区によって収量、品質が大きく異なったが、区の配置、倒伏程度によると考えられた。カリ資材の施用は、

品質、味度値を低下させなかった。

試験3では、塩化カリ1.0kg/a追肥により収量、品質に差は認められなかったが、味度値が有意に低下した(表9)。しかし、その差は1.4であり食味には影響がないと思われる。

表7 ゼオライト及びカリ資材の水稻生育への影響

区名	7月5日		7月23日		成熟期				
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 (0-400)	ごま葉枯 (0-3)
ゼオライト50	50.4	590	76.1	575	87.8	17.3	415	213	1.2
ゼオライト100	51.4	477	76.0	529	86.1	17.6	377	160	1.3
ケイ酸カリ	51.9	617	76.7	577	93.0	17.4	430	265	1.3
併用	52.0	602	78.1	560	93.9	18.0	408	313	0.7
無処理	50.2	514	78.7	540	86.3	17.2	387	207	1.6
ほ場間	n. s.	**	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	**
区間	n. s.	+	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.
ケイ酸カリ	50.8	716	77.5	582	85.8	16.7	376	265	1.0
塩化カリ	48.8	662	74.5	534	87.1	16.8	355	140	0.5
無処理	50.3	592	77.9	528	88.2	16.9	423	275	1.5

ごま葉枯は達観調査による。0:発生なし、1:10株以上調査して見つかる程度、2:数株調査して病斑が見つかる程度、3:1株に多数の病斑あり。

分散分析により+は10%、*は5%、**は1%で有意差あり。

表8 ゼオライト及びカリ資材の水稻収量、品質への影響

区名	全重 (kg/a)	わら重 (kg/a)	精粗重 (kg/a)	粗玄米重 (kg/a)	精玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	等級	タンパク質 含量(%)	味度値
ゼオライト50	122.2	54.6	67.6	55.7	54.8	22.6	4.7	6.1	79.1
ゼオライト100	120.8	55.1	65.7	54.3	53.2	22.8	4.7	6.1	78.3
ケイ酸カリ	126.8	58.9	67.9	55.7	54.8	22.4	5.2	6.3	80.3
併用	141.8	70.6	71.2	58.5	55.8	21.9	5.7	6.7	76.8
無処理	118.6	55.3	63.3	52.2	50.7	22.3	5.0	6.3	80.2
ほ場間	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
区間	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
ケイ酸カリ	122.0	59.6	62.3	51.3	50.5	22.3	4.5	6.1	78.9
塩化カリ	140.6	64.4	76.2	62.8	61.7	22.5	4.0	6.0	79.5
無処理	129.0	61.6	67.4	55.2	52.8	22.0	5.5	6.6	79.2

精玄米重、千粒重は粒厚1.8mm以上

タンパク質含量は玄米水分15%補正值

等級は10段階評価[1(1等上)□9(3等下)、10(規格外)]

分散分析により+は10%、*は5%、**は1%で有意差あり。

表9 塩化カリ追肥による水稲収量、品質への影響

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	全重 (kg/a)	精玄米重 (kg/a)	等級	タンパク質 含量(%)	味度値
追肥なし	91.3	17.4	409	134.8	55.7	5.2	6.4	78.8
追肥あり	90.5	17.4	410	129.3	54.1	5.3	6.3	77.4
判定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*

タンパク質含量は玄米水分15%補正值

等級は10段階評価[1(1等上)□ 9(3等下)、10(規格外)]

対応のある t 検定により+は10%、*は5%、**は1%で有意差あり。

4 考察

(1) 吸着資材の効果

ゼオライトは水稲の放射性 Cs 吸収を抑制した。一方で、水稲の放射性 Cs 濃度と土壌中の交換性カリ含量の関係ではゼオライトを施用した区とその他の区を合わせたデータを解析した場合でも高い相関が認められることから、本試験のゼオライトの放射性 Cs 吸収抑制効果は、Cs 吸着効果よりゼオライトに含まれるカリによる抑制効果が高かったものと考えられた。

(2) カリ資材の効果

カリ資材の違いによる放射性 Cs 吸収抑制効果は、土壌中の交換性カリ含量 25mg を目標に施用した場合、ケイ酸カリより塩化カリの方が大きかった。ケイ酸カリと塩化カリでは土壌中の交換性カリ含量の推移が大きく異なったことが要因と考えられた。このことから、放射性 Cs 吸収抑制には栽培初期から土壌中の交換性カリ含量を高める施肥法が重要と推察される。一方で塩化カリの土壌中の交換性カリ含量は収穫時に 7mg/100g 程度に減少しており、放射性 Cs 吸収抑制対策として目標とされている作付け前の土壌中の交換性カリ含量 25mg/100g を塩化カリで維持するためには毎年多量の施肥が必要であると推察された。このことから、試験水田のような CEC が低く稲藁が持ち出されるほ場では、土壌の保肥力の改善や稲藁の還元によるカリの供給など総合的な対策が必要であると考えられた。

(3) 追肥の効果

塩化カリ 1.0 kg /a を出穂 34 日前に施用することにより、約 50% と比較的高い放射性 Cs 吸収抑制効果が認められた。基肥と追肥に塩化カリを施用した区が最も放射性 Cs の吸収を抑制した。塩化カリの追肥に高い効果が認められた要因として、7月に急激に土壌中の交換性カリ含量が低下したことが影響していると推察された。

(4) 生育への影響

ゼオライトは低温条件下で水稲初期の茎数を抑制するが¹⁾、本試験においてはゼオライト 50 kg /a では茎数の抑制が認められず、100 kg /a で初期生育の抑制が観察され7月上旬の生育調査にも影響が残った。しかし、その後生育は回復し、収量は無処理区を上回り、品質は同等であった。現場におけるゼオライトの施用量は 20 から 30 kg /a 程度であることから、ゼオライトの初期生育への影響は無いまたは極めて

小さい程度と推察された。

現場では吸収抑制資材として施用されたカリ資材の食味への影響が懸念されているが、供試した程度の基肥施用では食味への影響は無いと推察された。

以上のことから、ゼオライトは施用量が増加するほど放射性 Cs 吸収抑制効果は高くなるが、施用 1 年目の抑制効果は Cs 吸着効果より含有するカリの影響が大きいと考えられた。カリ資材では、同じカリ成分量を施用した場合、ケイ酸カリより塩化カリの方が抑制効果が高く、基肥と追肥に塩化カリを施用することで強く放射性 Cs の吸収を抑制した。これら資材の水稲の生育、品質に対する影響は認められなかった。

謝 辞

本試験を実施にあたり、試験水田管理農家、JA 全農福島、二本松市、福島県植物防疫協会には御支援、御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 安藤 豊・安達 研・南 忠・西田直樹. 1988. 水稲生育初期の茎数と土壌アンモニア態窒素の関係. 日本作物学会紀事 57: 678-684.