

放射性セシウム含有堆肥の施用による飼料作物栽培への影響

前田綾子、黒澤良介¹⁾、木下 強、沖杉美穂²⁾

1) 現 県南家畜保健衛生所、2) 現 農政部経営技術課

要 約

東日本大震災に伴う、東京電力福島第一原子力発電所の事故後に起因する放射性セシウム(Cs)含有堆肥の適正施用を図るため、自給粗飼料生産に利用可能な堆肥(8,000Bq/kg以下)施用下における飼料作物の栽培試験を実施し、次のような成果を得た。

- 1) 飼料用トウモロコシ栽培において、3年連続で放射性Cs含有堆肥(約8,000Bq/kg)を4t/10aを施用すると土壌の放射性Csは化成区と比較して増加するが、植物中の放射性Csは、対照区と比較して大きな差は認められず牛用飼料の放射性Cs暫定許容値(100Bq/kg)を大幅に下まわった。
- 2) イタリアンライグラス栽培において2年連続で放射性Cs含有堆肥3t/10aを施用すると土壌の放射性Csは化成区と比較して増加するが、植物中の放射性Csは、化成区と比較して大きな差は認められず牛用飼料の放射性Cs暫定許容値(100Bq/kg)を大幅に下まわった。
- 3) オーチャードグラス栽培において放射性Cs含有堆肥を3t/10a以上施用すると化成区と比較して土壌の放射性Csは増加するが、植物中の放射性Csは、化成区と比較して大きな差は見られなかった。また、1番草に比べ2番草の放射性Csが高い傾向であったが、牛用飼料の放射性Cs暫定許容値(100Bq/kg)を大幅に下まわった。
- 4) スーダングラス及びミレット栽培において放射性Cs含有堆肥3t/10aを施用すると土壌の放射性Csは化成区と比較して増加するが、植物中の放射性Csは、化成区と比較して大きな差は認められず牛用飼料の放射性Cs暫定許容値(100Bq/kg)を大幅に下まわった。
- 5) 飼料用トウモロコシ及びイタリアンライグラスについて非放射性Cs汚染土壌を充填したポット栽培により、放射性Cs含有堆肥の施用試験を実施した結果、いずれの草種もほ場試験と同様に牛用飼料の放射性Cs暫定許容値(100Bq/kg)を大幅に下まわった。

目 的

2011年3月11日の東日本大震災に伴う、東京電力福島第一原子力発電所の事故後、食品中の放射性物質の暫定規制値が設定され、規制値を超える食品が市場に流通しないよう出荷制限などの措置がとられた。その後、食品だけでなく、2011年8月1日には、放射性Csを含む肥料・土壌改良資材・培土の暫定許容値400Bq/kg(製品重量)が設定された。ただし、①農地で生産された農産物の全部または一部を当該農地に還元施用する場合。②畜産農家が飼料を自給生産する草地・飼料畑等において自らの畜産経営から生じる家畜排せつ物(8,000Bq/kg以下)又はそれを原料とする堆肥(8,000Bq/kg以下)を還元施用する場合。③畜産農家に供給する飼料を生産している農家等が、当該飼料を生産する草地・飼料畑等において、当該飼料の供給先の畜産経営から生じる家畜排せつ物(8,000Bq/kg以下)またはそれを原料とする堆肥(8,000Bq/kg以下)を還元施用する場合。においてはこの限りではない¹⁾。

このように、暫定許容値を超える放射性Csを含む堆

肥であっても8,000Bq/kg以下ならば、自己の飼料作物生産ほ場に施用可能であるが、生産者の中には、放射性Cs含有堆肥施用による飼料作物への放射性Csの移行を懸念し、堆肥の処理利用に不安を感じている状況も見られる。そこで放射性Cs含有堆肥連年施用による飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラスへの影響について調査した。また、放射性Cs含有堆肥を施用したオーチャードグラス、スーダングラス、ミレットにおける放射性Csの影響について調査した。

試験1 飼料用トウモロコシ栽培における放射性Cs含有堆肥連年施用試験

材料及び方法

(1) 試験ほ場及び供試品種

栃木県畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)において飼料用トウモロコシ(RM115、SH4681)を3年間、同一条件で栽培した。なお、試験ほ場の前作はオーチャードグラスを主体とする永年草であり、初年度

の播種前土壤中放射性 Cs は 1,756Bq/kg 乾土、交換性 K_2O は 10mg/100g 乾土、pH は 5.95 であった。播種前の土壤の放射性 Cs が高い理由は、2011 年 3 月の東日本大震災に伴う原子力発電所の事故に起因する。

(2) 供試堆肥及び試験区

放射性 Cs 濃度が異なる 3 種類 (400, 4,000, 8,000Bq/kg を想定) の牛ふん堆肥を供試した (表 1)。供試堆肥の概要は表 1 のとおり。

試験区名は放射性 Cs 濃度の想定値を用いることとした。なお、4,000Bq/kg を想定した堆肥の放射性 Cs (実測値) は 3,280Bq/kg 原物であったことから、実態に合わせて 3000 区とし、化成区は、堆肥施用と比較するため化成肥料 (オール 14) のみの試験区を設定した。また、試験区は 1 区画 6.75 m^2 (3 畝×15 本) で 3 反復とし、試験区ごとの肥培管理は表 2 のとおり。

(3) 施肥設計及び施肥方法

堆肥の施用量は、栃木県における農作物施肥基準²⁾に基づき 10a 当たり 4t とした。また、重複散布を想定し、最も高濃度の 8000 区のみ 2 倍量区を設定した。供試堆肥は、フレコンバックに保存しておき、2 年目以降は、堆肥の水分含有量が変化することを考慮し、初年度の乾物換算量と等量になるよう施用量を設定した。

施肥設計は、各試験区 (化成区のみ 3 成分とも施肥) とも窒素 (N) 施肥量が農作物施肥基準の施肥水準となるように尿素肥料で補正した。なおオガクズ堆肥の窒素肥効率 10%、モミガラ堆肥の窒素肥効率 20% で計算した (表 2)。

堆肥はロータリー耕による土壤混和施用とし、化成肥料及び尿素肥料は表層施用とした。

(4) 調査項目及び方法

土壤については、放射性 Cs 濃度、交換性塩基 (K_2O 、 MgO 、 CaO) 濃度を測定した。なお、試料の採取方法は円筒状の土壤採取器具を用いて深度 20cm の土壤を試験区ごとに 10 箇所採取して分析試料とした。

植物体については、放射性 Cs 濃度、ミネラル (K、Mg、Ca) 濃度を測定するとともに、乾物収量を調べた。

供試堆肥については、放射性 Cs 濃度、全窒素濃度、ミネラル (K_2O 、 MgO 、 CaO) 濃度を測定した。

なお、土壤、植物体、堆肥の放射性 Cs 測定は、ゲルマニウム半導体検出器を用い、Cs134 と Cs137 濃度の合計値を Cs 濃度とした。

また、栽培概要は、表 3 のとおり。播種・肥料・堆肥施用前 (施用前)、播種・肥料・堆肥施用後 (施用後)、収穫後に土壤のサンプリングをした。毎年、黄熟期に収穫した。

結果及び考察

すべての区の供試した堆肥の放射性 Cs 濃度は、年々低下した。供試堆肥は、フレコンバックで保存していたため、雨水が入り若干水分が増加した (表 1)。

土壤の放射性 Cs 濃度の推移について、化成区と 400 区は、1,756Ba/kg 乾土からの放射性崩壊 (推定値) と同様に低下した (図 1)。このことから 400 区の放射性 Cs 含有堆肥を毎年 4 t /10a 連年施用しても土壤に影響がないと考えられた。しかし 3000 区、8000 区及び 8000 区×2 倍区は、化成区より高く推移した。このことにより、3000 区以上の放射性 Cs 含有堆肥を 4t/10a 以上連年施用すると土壤の放射性 Cs 濃度が増加すると考えられた (図 1)。

図 2~4 に化成区、400 区、3000 区、8000 区及び 8000 区×2 倍区の土壤中の交換性 K_2O 、 CaO 、 MgO の推移を示した (図 2, 3, 4)。交換性 K_2O について、3000 区の堆肥は、戻し堆肥のため、 K_2O 成分が多く、他の区と比較して高く推移した。交換性 CaO については、化成区は、 CaO を施用していないため、年々低下した。400 区と 8000 区は、堆肥中に含まれる CaO がほぼ同程度なため、同じように推移し維持された。3000 区は、他の堆肥と比較して CaO が高いため、年々増加した。交換性 MgO は、交換性 CaO と同様に化成区は MgO を施用していないため年々低下した。他の区は堆肥中の MgO 濃度に応じて、一番濃度が高い 3000 区が高く推移した。

このような土壤で飼料用トウモロコシを栽培したところ、植物体中の放射性 Cs 濃度は、図 5 のような推移を示した。化成区と比較して、1 年目、2 年目は低く、3 年目は、ほぼ同じ傾向であり、年々低下した。土壤中の交換性 K_2O が多かった 3000 区の植物中の放射性 Cs 濃度は、他の区と比較して低い傾向にあった。

以上の結果より、牧草の放射性 Cs 濃度は、土壤の交換性 K_2O 濃度と負の相関関係にある³⁾ といわれているため、施用した堆肥の K_2O による植物への放射性 Cs 吸収抑制が起きたと考えられた。また堆肥施用後、ロータリー耕による土壤混和したため、土壤に堆肥中の放射性 Cs が吸着し植物が吸収しにくい形態になったと考えられたため、化成区と比較して植物中の放射性 Cs が増加しなかったと考えられた。

しかし、土壤の交換性 K_2O により放射性 Cs が植物体に吸収されにくいとされているが、 K_2O を多量に施用すると飼料作物中の K 濃度が増加すると言われている⁴⁾。乳牛の分娩前には、K 含量が 2% 以下の低 K 含量の粗飼料を使うことが推奨されている⁵⁾ ため、植物体中の K 濃度を調べた結果、試験した土壤では、2% 以下となった。

また、放射性 Cs 含有堆肥を連年施用しても化成区と比較して収量は低下しなかった。

全ての試験区で飼料の暫定許容値である100Bq/kg（水分80%補正）¹⁾を大幅に下回った。放射性Cs含有堆肥を連年施用しても影響がないと考えられた。

表1 飼料用トウモロコシ栽培試験における供試堆肥の成分（原物中）の推移

試験区	堆肥原料	成分 堆肥連用(年目)	放射性Cs (Bq/kg)			全窒素 (%)			K ₂ O (%)			CaO (%)			MgO (%)			乾物率 (%)		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
400区	牛ふん、オガクズ		385	239	235	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.9	0.7	0.7	0.4	0.3	0.2	43	37	36
3000区	牛ふん、オガクズ、戻し堆肥		3,280	2,658	2,447	1.0	0.9	0.8	2.4	2.4	2.0	1.5	1.6	1.3	1.2	0.7	0.6	49	47	43
8000区	牛ふん、モミガラ		8,470	7,220	4,860	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.4	0.4	53	59	47

※堆肥施用時の濃度

表2 飼料用トウモロコシ栽培試験における堆肥及び化学肥料施用量

試験区	堆肥連用(年目)	堆肥施用量 (t/10a)						化学肥料施用量 (kg/10a)		
		原物			乾物			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
化成区		-	-	-	-	-	-	22-22-22	22-22-22	22-22-22
400区		4.0	4.7	4.7	1.7	1.7	1.7	20-0-0	19-0-0	19-0-0
3000区		4.0	4.2	4.5	1.9	1.9	1.9	18-0-0	18-0-0	18-0-0
8000区		4.0	3.6	4.5	2.1	2.1	2.1	15-0-0	15-0-0	15-0-0
8000区×2倍区		8.0	-	-	4.2	-	-	7-0-0	-	-

表3 飼料用トウモロコシの栽培概要

試験年	堆肥連用(年目)	播種・肥料・堆肥施用前(施用前)	播種日	播種・肥料・堆肥施用後(施用後)	収穫日	収穫後
2012	1	4/16	4/17	4/18	8/20	8/21
2013	2	4/15	4/17	4/17	8/20	8/26
2014	3	4/15	4/17	4/17	8/22	8/22

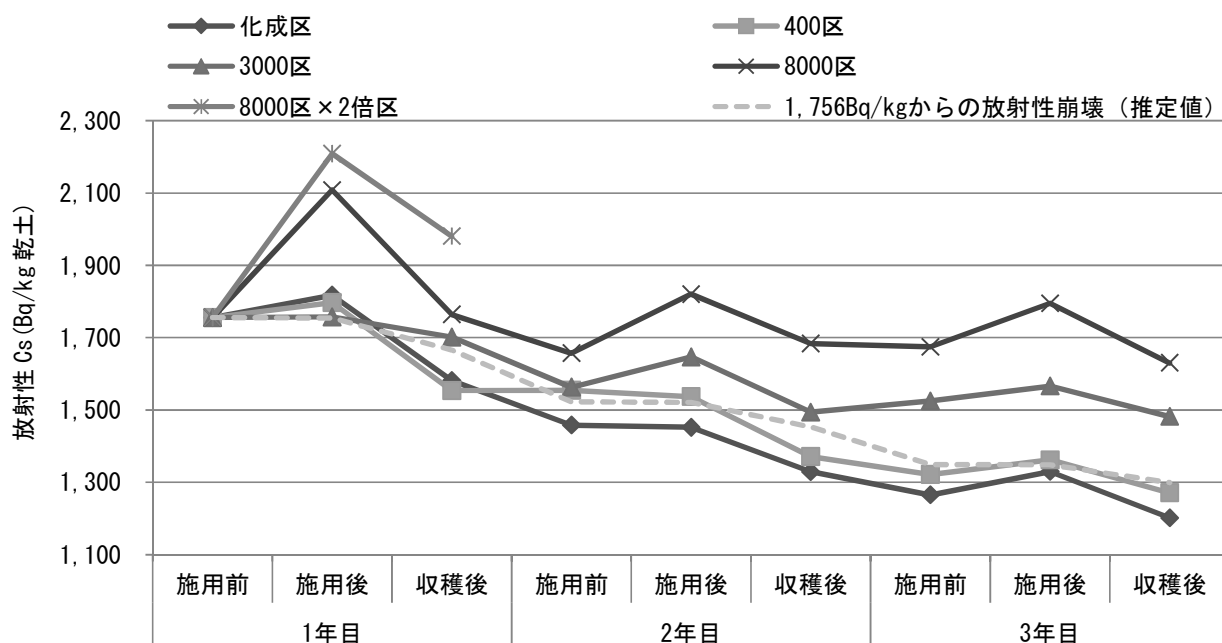


図1 飼料用トウモロコシ栽培試験における土壤中放射性Csの推移

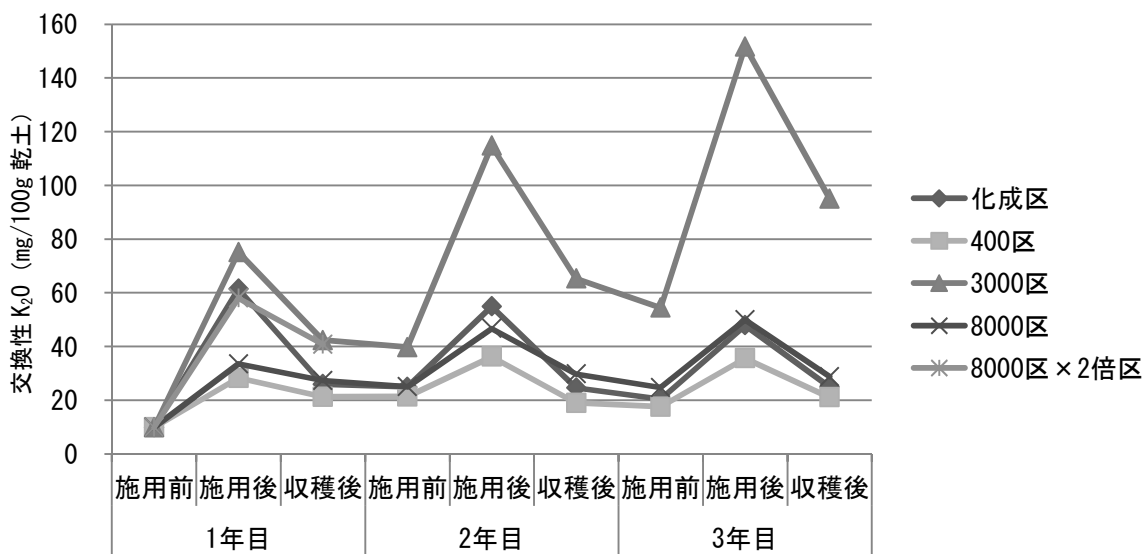


図2 飼料用トウモロコシ栽培試験における土壤中の交換性 K₂O (mg/100g 乾土) の推移

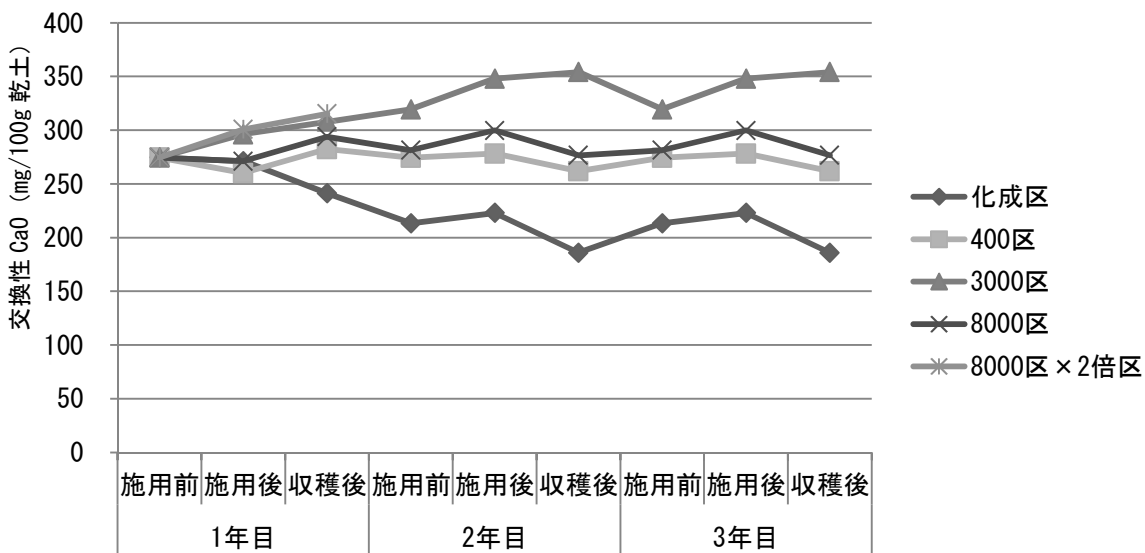


図3 飼料用トウモロコシ栽培試験における土壤中の交換性 CaO (mg/100g 乾土) の推移

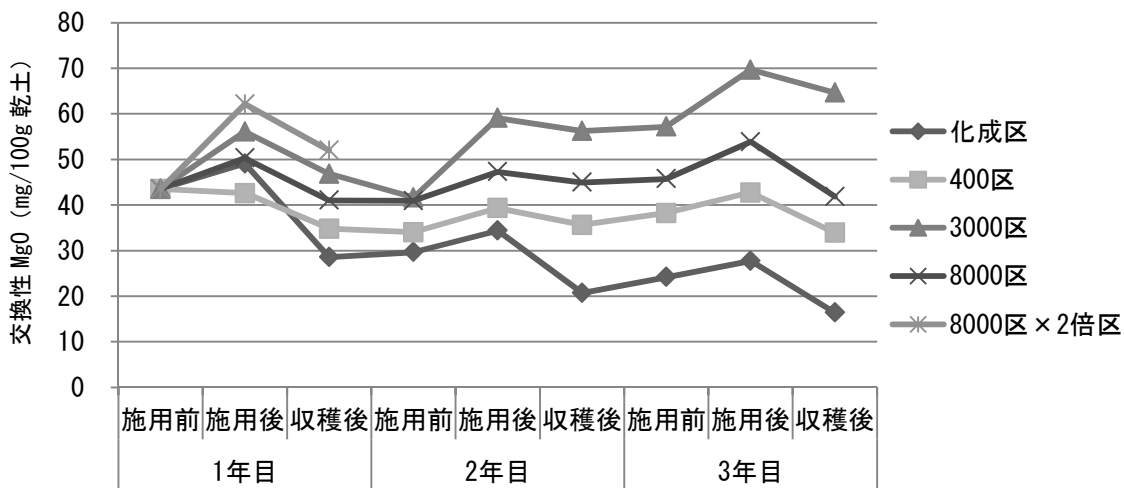


図4 飼料用トウモロコシ栽培試験における土壤中の交換性 MgO (mg/100g 乾土) の推移

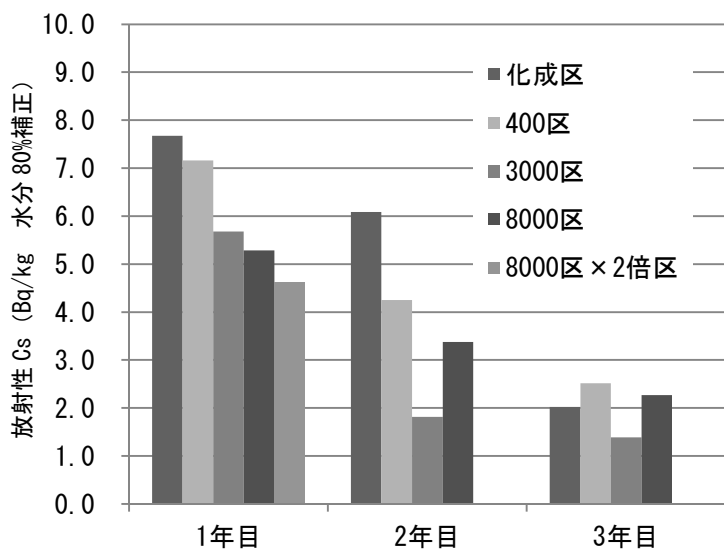


図5 飼料用トウモロコシ栽培試験における植物体中の放射性Csの推移（水分80%補正）

表4 飼料用トウモロコシ栽培試験における植物体中ミネラル及び乾物収量の推移

試験区	植物体中のK(%乾物中)			K/(Mg+Ca)当量比			乾物収量(kg/10a)		
	堆肥連用(年目)			1	2	3	1	2	3
化成区	1.3	1.3	1.1	2.2	1.7	1.6	1,987	1,656	1,703
400区	1.3	1.2	0.9	2.0	1.9	1.4	1,878	1,577	1,951
3000区	1.5	1.3	1.3	2.5	2.8	2.7	2,013	1,926	2,022
8000区	1.3	1.2	1.0	2.0	2.2	1.7	1,921	1,889	2,026
8000区×2倍区	1.4	—	—	2.2	—	—	1,836	—	—

試験2 イタリアンライグラス栽培における放射性Cs含有堆肥連年施用試験

材料及び方法

(1) 試験ほ場及び供試品種

試験1と同一ほ場内に、隣接して試験区を設け、イタリアンライグラス（ワセアオバ）を2年間、同一条件で栽培した。なお、種子の播種方法は散播、播種量は3kg/10aとした。初年度の播種前の土壤中放射性Csは1,732Bq/kg乾土、交換性K₂Oは35 mg/100g乾土であった。

(2) 供試堆肥及び試験区

試験1と同様に放射性Cs濃度が異なる3種類の牛ふん堆肥を供試した（表5）。試験区の設定及び施用の概要は表6のとおり。

試験区は1区画5.25 m²(3.5m×1.5m)で3反復とし、試験区ごとの肥培管理は2年間固定することとした。

(3) 施肥設計及び施肥方法

堆肥の施肥量は、試験1と同様に農作物施肥基準に基づき10a当たり3tとし、8000区のみ2倍量区を設定した。供試堆肥は、フレコンバックに保存しておき、試験1同様の乾物換算量と等量になるよう施用量を設定した（表6）。

施肥設計も試験1と同様に、各試験区とも窒素施肥量が農作物施肥基準の施肥水準となるように尿素肥料で補正し（表6）、堆肥及び化成肥料、尿素肥料の施用方法も同様の方法とした。

(4) 調査項目及び方法

試験1と同様とした。

なお、栽培の概要は、表7のとおりで、毎年、1番草は出穂期、2番草は開花期に収穫して調査した。さらに収穫調査時に倒伏がみられたので倒伏程度も調査した。

結果及び考察

供試堆肥の放射性Cs濃度は、いずれの区も年々低下した。供試堆肥は、フレコンバックで保存していたため、雨水が入り若干水分が変動した（表5）。

土壤の放射性Cs濃度を、堆肥施用前に全ての区で調査したところ、100m²程度の試験ほ場でも300Bq/kg乾土程度の差があり、試験実施場所の土壤の放射性Csの沈着量にばらつきがみられた（図6）。全区の堆肥施用前の土壤の放射性Cs濃度の平均値が1,732Bq/kg乾土であり、この値をもとに計算した放射性崩壊に伴う推定放射性Cs濃度の推移を図6に示した。

化成区土壤の放射性Cs濃度は、推定値と同様に低下した。400区土壤の放射性Cs濃度は、施用前に化成区より100Bq/kg乾土程度高く、収穫後2でも同様に100Bq/kg乾土程度高い値で推移したため、堆肥施用による上昇は無かったと考えられた。3000区土壤の放射性Csは、堆肥施用前が1,700Bq/kg乾土であり、化成区と比較して200Bq/kg乾土程度低かったが、収穫後2では、100Bq/kg乾土程度高くなったため、放射性Cs3,000Bq/kg程度の堆肥を3t/10a連用施用すると土壤の放射性Csは上昇すると考えられた。同様に8000区、8000区×2倍区でも土壤中の放射性Cs濃度の上昇が見られた。

化成区、400区、3000区、8000区及び8000区×2倍区の土壤中の交換性K₂O、CaO、MgOの推移を示した（図7, 8, 9）。戻し堆肥である3000区の堆肥は、K₂O成分が多いため、他の区と比較して、交換性K₂Oは高い値で推移した。化成区の交換性CaO、MgOは、これらの成分を施用していないため、年々低下した。

このような土壤でイタリアンライグラスを栽培したところ、植物体中の放射性Cs濃度は、図10のような推移を示した。1年目の1番草の放射性Cs濃度は、3000区以外は同程度の値を示した。3000区の植物体中の放射性Cs濃度が高い傾向を示したのは、他の区と比較して収量が多く、倒伏したためイタリアンライグラスが土壤に接触し土壤の放射性Csが付着して高くなったと考えられた（表8）。8000区×2倍区の1年目の2番草の植物体中の放射性Csは、1番草と比較して低かった。また、2年目の1番草の植物体中の放射性Cs濃度は、化成区と比較していずれの区も低く、倒伏が多いほど高い傾向にあった。2年目の2番草の植物体中の放射性Cs濃度は、1番草と比較して全ての区で低く、飼料の暫定許容値である100Bq/kg（水分80%補正）を大幅に下回った。

以上のことから、放射性Cs含有堆肥を連年施用しても影響がないと考えられた。

植物体中のK濃度を調べたところ、2%を越える区がほとんどであった。また牛は、飼料作物中のKの過剰摂取によるMgの吸収抑制が挙げられ、一般に飼料作物中のK/(Ca+Mg)当量比を2.2以内に抑えることが目標とされている⁴⁾。このことにより、今回、試験したイタリアンライグラスのK/(Ca+Mg)当量比を調べたところ、すべての区で2.2以下となった。今回試験した土壤でイタリアンライグラス栽培しても、イタリアンライグラス中のミネラルバランスは、問題がないことを確認した。

表5 イタリアンライグラス栽培試験における供試堆肥の成分（原物中）の推移

試験区	堆肥原料	成分		放射性Cs (Bq/kg)		全窒素 (%)		K ₂ O (%)		CaO (%)		MgO (%)		乾物率 (%)	
		堆肥連用(年目)		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
400区	牛ふん、オガクズ			372	306	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	0.2	0.2	37	37
3000区	牛ふん、オガクズ、戻し堆肥			3,050	2,729	0.9	1.0	2.0	2.6	1.5	1.7	0.7	0.8	47	50
8000区	牛ふん、モミガラ			8,590	7,460	1.0	0.8	0.8	0.8	1.2	1.0	0.5	0.4	59	53

※堆肥施用時の濃度 試験1の各試験区と同一のロット

表6 イタリアンライグラス栽培試験における堆肥及び化学肥料施用量

試験区	堆肥施用量 (t/10a)				化学肥料施用量 (kg/10a)			
	原物		乾物		基肥 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O		追肥 N	
	堆肥連用(年目)		1	2	1	2	1	2
化成区	-	-	-	-	13-13-13	13-13-13	-	2
400区	3.5	3.6	1.3	1.3	11-0-0	11-0-0	-	2
3000区	3.1	2.9	1.5	1.5	10-0-0	10-0-0	-	2
8000区	2.7	3.0	1.6	1.6	8-0-0	8-0-0	-	2
8000区×2倍区	5.4	-	3.2	-	2-0-0	-	2	-

表7 イタリアンライグラスの栽培概要

堆肥連用 (年目)	播種・肥料・堆肥施用前 (施用前)	播種日・肥料・堆肥施用 (施用後)	1番草収穫・追肥 (収穫後1)	2番草収穫 (収穫後2)
1	2012/10/4	2012/10/5	2013/5/1	2013/6/6
2	-	2013/10/3	2014/5/2	2014/6/4

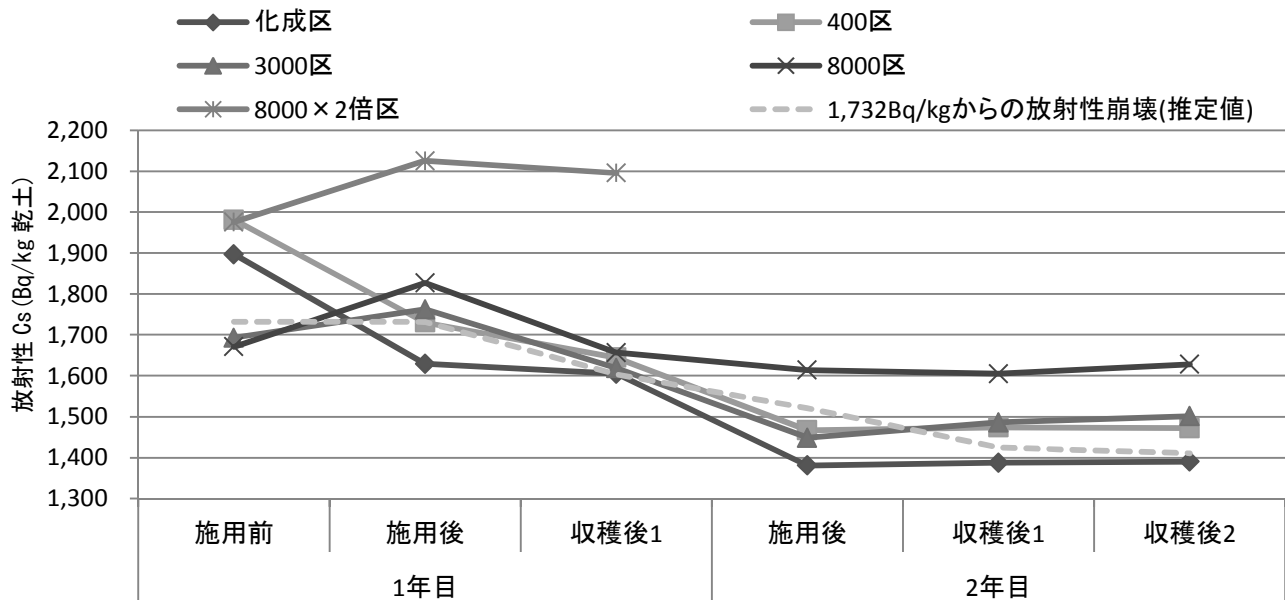


図6 イタリアンライグラス栽培試験における土壤中放射性Csの推移

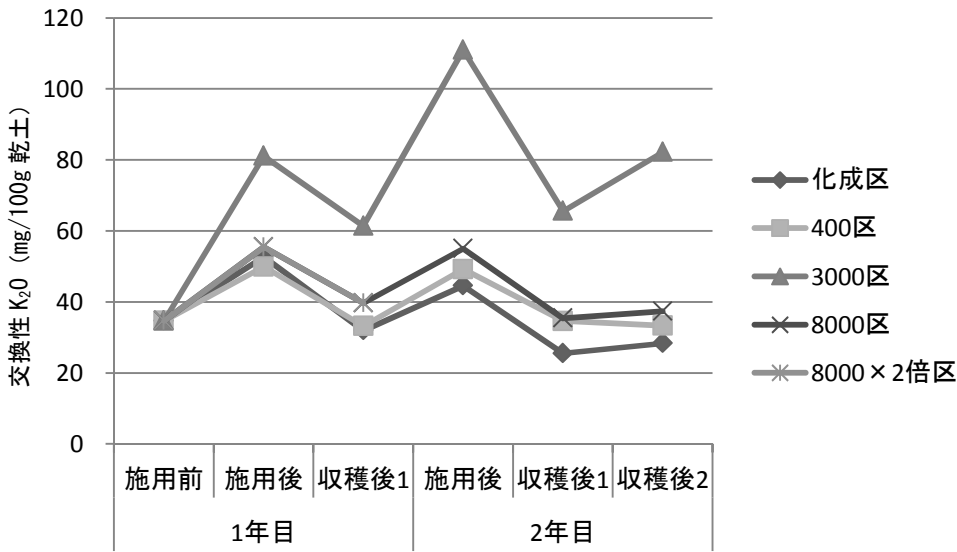


図7 イタリアンライグラス栽培試験における土壤中の交換性 K₂O (mg/100g 乾土) の推移

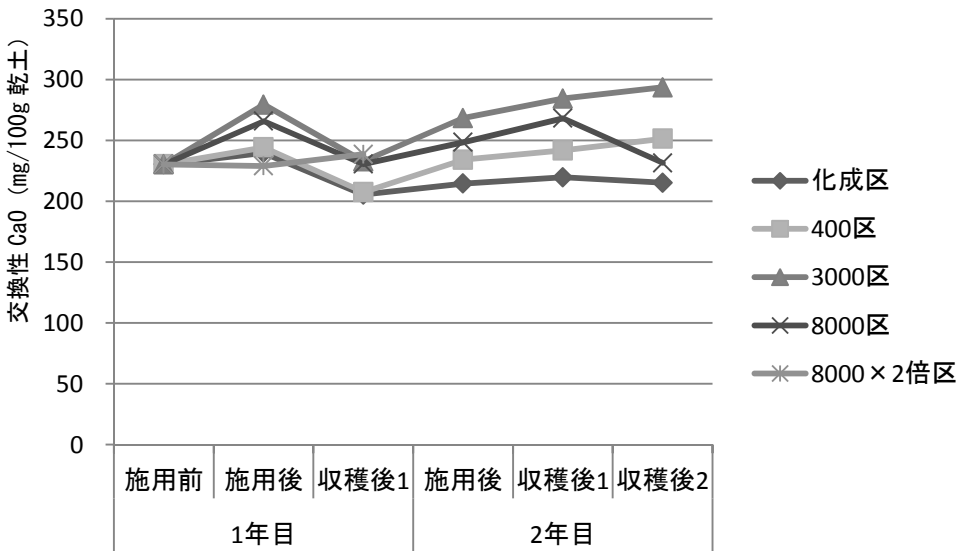


図8 イタリアンライグラス栽培試験における土壤中の交換性 CaO (mg/100g 乾土) の推移

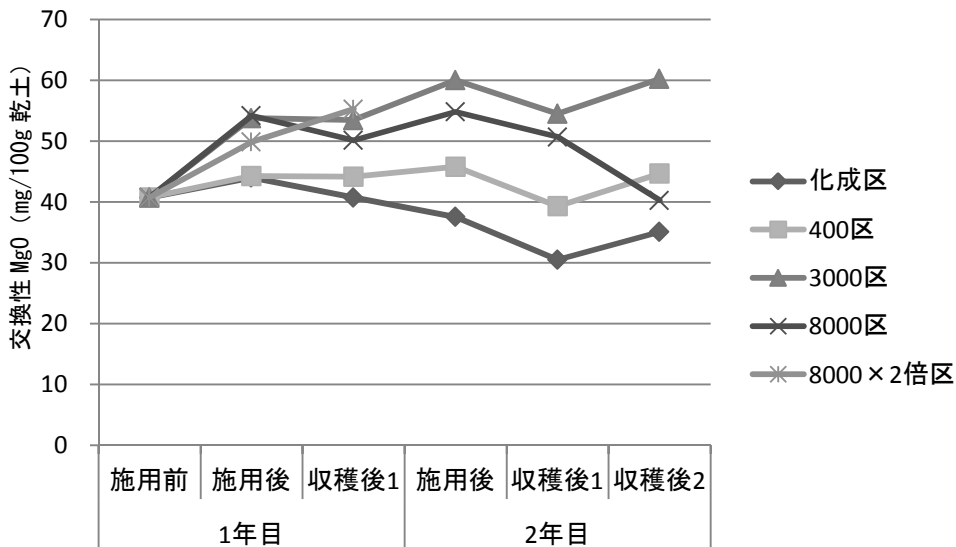


図9 イタリアンライグラス栽培試験における土壤中の交換性 MgO (mg/100g 乾土) の推移

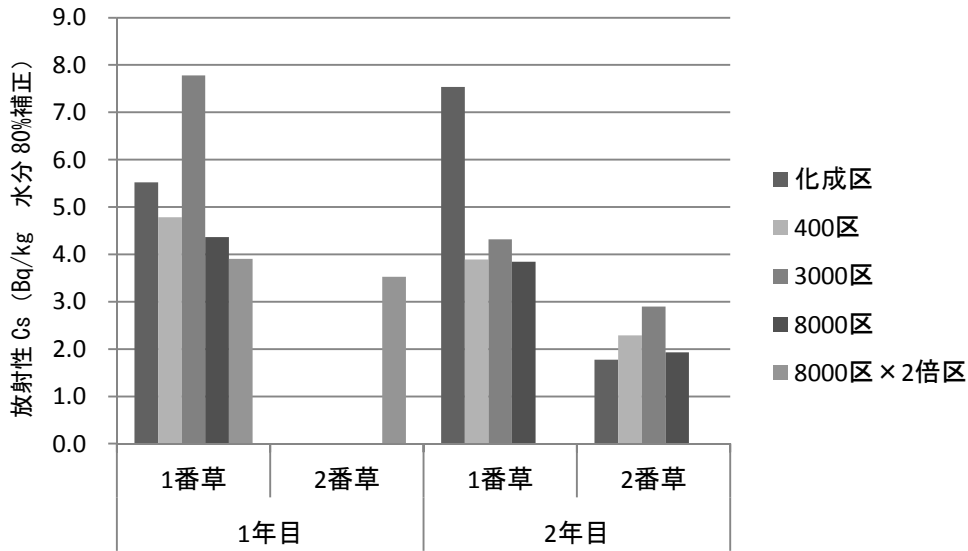


図 10 イタリアンライグラス栽培試験における植物体中の放射性 Cs の推移 (水分 80%補正)
 ※2年目の2番草は、放射性 Cs の 134 が ND だったため、137 のみの値

表 8 イタリアンライグラス栽培試験における植物体中ミネラル、乾物収量及び倒伏程度

試験区	植物体中のK(%乾物中)			K/(Mg+Ca)当量比			乾物収量 (kg/10a)				倒伏程度		
	堆肥連用 (年目)		2	1		2		1		2		1	2
	1	1		1	1	2	1	2	1	2			
化成区	2.5	2.4	1.9	2.0	1.7	2.0	766	-	856	188	1	6	
400区	2.2	2.0	2.0	1.9	1.7	2.2	736	-	779	147	1	3	
3000区	2.5	2.4	2.0	2.2	2.0	1.8	803	-	877	162	2	6	
8000区	2.1	2.2	2.0	2.0	1.8	1.7	725	-	782	160	1	5	
8000区×2倍区	1.7	-	-	1.8	-	-	421	142	-	-	1	-	

※倒伏程度 1:倒伏無~9:100%倒伏 2番草は倒伏無

試験3 スーダングラス・ミレット栽培における放射性Cs含有堆肥単年施用試験

材料及び方法

(1) 試験ほ場及び供試品種

試験1と同一ほ場内に、隣接して試験区を設け、スーダングラス（ヘイスーダン）、ミレット（グリーンミレット早生）を栽培した。なお、種子の播種方法は散播とし、播種量は、スーダングラス 8kg/10a、ミレット 5kg/10aとした。スーダングラス、ミレット栽培ほ場の播種前の土壌成分は、表10の施用前のとおり。

(2) 供試堆肥及び試験区

試験1で用いた堆肥のうち、最も放射性Cs濃度が高い堆肥（試験1の表1の8000区の2年目）を供試した。試験区の設定は表9のとおり。

試験区は1区画6㎡(4m×1.5m)で3反復とした。

(3) 施肥設計及び施肥方法

堆肥の施肥量は、試験1と同様に農作物施肥基準²に準じて10a当たり3tとした。

施肥設計も試験1と同様に、窒素施肥量が農作物施肥基準の施肥水準となるように尿素肥料で補正し（表9）、

堆肥及び化成肥料、尿素肥料の施用方法も同様の方法とした。

(4) 調査項目及び方法

試験2と同様とした。

なお、スーダングラスの栽培期間は2013年5月14日から7月12日、ミレットは2013年5月14日から7月24日であり、2草種とも出穂始期に収穫して調査した。施用前の土壌のサンプリングは、2013年5月13日、施用後の土壌のサンプリングは、2013年5月15日に行った。

結果及び考察

土壌の放射性Csは、8000区の堆肥を3t/10a施用したところ100Bq/kg乾土程度増加した（表10）。

表10の土壌でスーダングラス及びミレット栽培したところ、植物体中の放射性Csは、化成区と比較して8000区は高くなったが、飼料の暫定許容値である100Bq/kg（水分80%補正）を大幅に下回った（表11）。

植物体中のK濃度は、全ての区で2%以上と高くなったものの、K/(Mg+Ca)当量比は、2.2以下となり、ミネラルバランスは問題無い値となった。

表9 スーダングラス・ミレット栽培試験における堆肥及び化学肥料施用量

草種	試験区	堆肥施用量	化学肥料施用量
		(t/10a)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O(kg/10a)
スーダングラス	化成区	-	15-15-15
	8000区	3	10-0-0
ミレット	化成区	-	13-13-13
	8000区	3	8-0-0

表10 スーダングラス・ミレット栽培試験における土壌成分

草種	試験区	放射性Cs		交換性K ₂ O		交換性CaO		交換性MgO	
		(Bq/kg乾土)		(mg/100g乾土)		(mg/100g乾土)		(mg/100g乾土)	
		施用前	施用後	施用前	施用後	施用前	施用後	施用前	施用後
スーダングラス	化成区	1,114	1,123	28	46	232	252	38	44
	8000区	1,178	1,274	26	36	228	245	35	36
ミレット	化成区	1,276	1,266	19	39	253	257	49	54
	8000区	1,296	1,342	23	38	248	253	48	53

表11 スーダングラス・ミレット栽培試験における植物体中の成分及び収量

草種	試験区	放射性Cs	K	K/(Mg+Ca)	乾物収量	倒伏程度
		(Bq/kg 水分80%補正)	(%乾物中)	当量比	(kg/10a)	
スーダングラス	化成区	5	2.8	1.8	699	9
	8000区	6	3.0	2.0	622	9
ミレット	化成区	8	3.1	1.1	723	3
	8000区	10	3.3	1.5	557	4

※倒伏程度 1：倒伏無～9：100%倒伏

試験4 オーチャードグラス栽培における放射性Cs含有堆肥単年施用試験

材料及び方法

(1) 試験ほ場及び供試品種

試験1とは異なる栃木県畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)内に試験区を設け、オーチャードグラス(ポトマック)を栽培した。なお、種子の播種方法は散播とし、播種量は、4kg/10aとした。栽培ほ場の播種前土壌成分は、図11、図12及び表13の施用前のおり。

(2) 供試堆肥及び試験区

試験2で用いた堆肥のうち、最も放射性Cs濃度が高い堆肥(試験2の表5の8000区の2年目)を供試した。試験区の設定は表12のとおり。

試験区は1区画14.25㎡(9.5m×1.5m)で3反復とした。

(3) 施肥設計及び施肥方法

堆肥の施肥量は、試験1と同様に農作物施肥基準に基づき10a当たり3tとした。

施肥設計も試験1と同様に、各試験区とも窒素施肥量が農作物施肥基準の施肥水準となるように尿素肥料で補正し(表12)、堆肥及び化成肥料、尿素肥料の施用方法も同様の方法とした。

(4) 調査項目及び方法

試験1と同様とした。

なお、オーチャードグラスの播種日は2014年9月27

日に行った。1番草は、出穂期(2015年5月7日)、2番草は、生育期(2015年6月16日)で収穫し調査した。土壌のサンプリングは、施用前は、2014年9月26日、施用後は、2014年9月27日、1番草収穫後(収穫後1)は、2015年5月7日、2番草収穫後(収穫後2)は、2015年6月16日に実施した。

結果及び考察

土壌の放射性Csは、8000区の堆肥を3t/10a施用したところ100Bq/kg乾土程度増加し、収穫後2でも低下しなかった(図11)。

図11、12及び表13の成分の土壌でオーチャードグラスを栽培したところ、植物体中の放射性Csは、化成区と比較して8000区は1番草、2番草とも若干低い傾向を示し、飼料の暫定許容値である100Bq/kg(水分80%補正)を大幅に下回った(図13)。また、1番草と比較して、2番草が高くなった。

オーチャードグラス中のK濃度及びK/(Mg+Ca)は、2番草の方が高くなった(表14)が、K/(Mg+Ca)当量比は、全ての区で2.2以下となり、ミネラルバランスは問題無い値となった。

表 12 オーチャードグラス栽培試験における堆肥及び化学肥料施用量

試験区	堆肥施用量 (t/10a)	化学肥料施用量 (kg/10a)	
		基肥 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	追肥 N
化成区	0	16-16-16	2
8000区	3	11- 0- 0	2

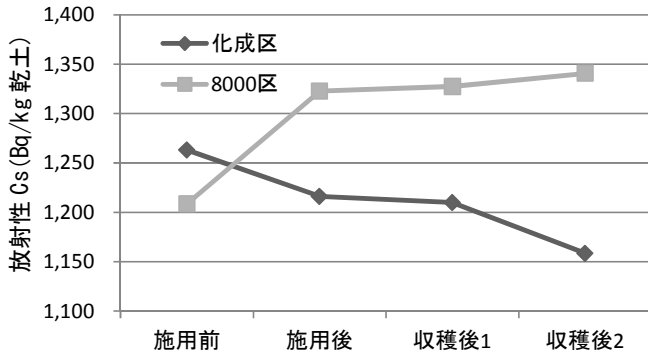


図 11 オーチャードグラス栽培試験における土壤中放射性 Cs の推移

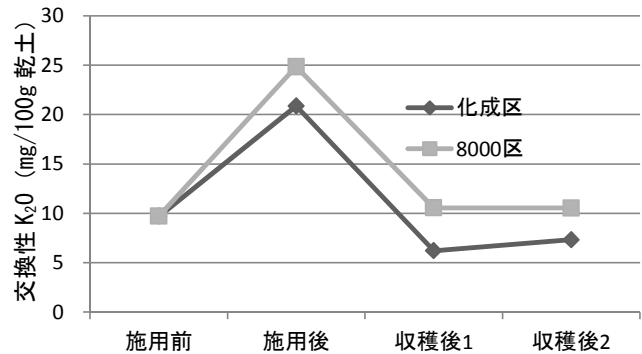


図 12 オーチャードグラス栽培試験における土壤中の交換性 K₂O (mg/100g 乾土) の推移

表 13 オーチャードグラス栽培試験におけるその他の土壤成分

試験区	交換性CaO(mg/100g乾土)				交換性MgO(mg/100g乾土)			
	施用前	施用後	収穫後1	収穫後2	施用前	施用後	収穫後1	収穫後2
化成区	341	360	358	355	50	55	46	46
8000区		364	374	370		58	53	56

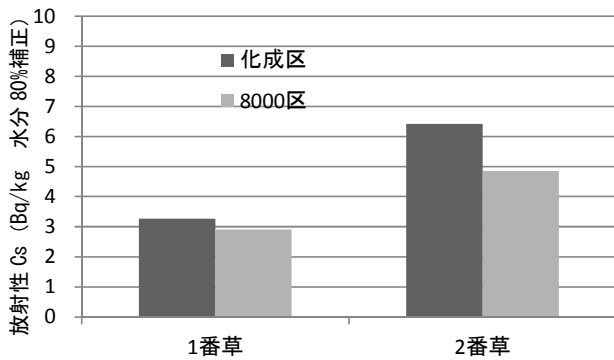


図 13 オーチャードグラス栽培試験における植物体中の放射性 Cs の推移 (水分 80%補正)

表 14 オーチャードグラス栽培試験における植物体中ミネラル及び収量

試験区	K (%乾物中)		K/(Mg+Ca) 当量比		乾物収量 (kg/10a)	
	1	2	1	2	1	2
	番草					
化成区	2.5	3.3	1.1	2.0	707	193
8000区	2.5	3.3	1.1	2.1	656	180

試験 5 飼料用トウモロコシポット栽培における放射性 Cs 含有堆肥施用試験

栽培土壌中放射性 Cs の影響を極力排除し、施用堆肥中放射性 Cs の影響をより明確にするため、低汚染土壌を用いた飼料用トウモロコシのポット栽培試験を実施し、植物体への放射性 Cs の移行等の影響について明らかにする。

材料及び方法

(1) ポット栽培方法及び供試品種

栃木県内で採取した放射性 Cs 濃度が低い土壌（表層多腐植質黒ボク土）を樹脂製の栽培容器（穴無）に充填し、屋外で栽培試験を実施した。飼料用トウモロコシは 90L の樹脂製バケツ（直径 48cm、高さ 52cm）を用い、1 ポットあたりの栽植密度が 1 本（ほ場試験と同密度）となるように播種した。なお、供試土壌中の放射性 Cs は 102Bq/kg 乾土、交換性 K_2O は 4mg/100g 乾土、交換性 CaO は 222 mg/100g 乾土、交換性 MgO は 31 mg/100g 乾土であった。

(2) 供試堆肥及び試験区

試験 1 用いた放射性 Cs 濃度が異なる 3 種類の堆肥と水分調整などにより一時的に作成した堆肥を加えた 4 種類の牛ふん堆肥を供試した（表 15）。試験区の設定及び施用量は、表 16 のとおりであり、試験 1 と同様、8000 区のみ 2 倍量区を設定した。なお、各試験区は 3 反復とした。

(3) 施肥設計及び施肥方法

堆肥の施肥量は、試験 1 と同様に農作物施肥基準に基づき 10a 当たり 4t とした。施肥設計も試験 1 と同様に、

各試験区とも窒素施肥量が農作物施肥基準の施肥水準となるように尿素肥料で補正した（表 16）。なお、堆肥は予め取り置いた作土深 20cm 分の土壌混和して栽培容器に戻し、化成肥料及び尿素肥料は表層施用とした。

(4) 調査項目及び方法

試験 1 と同様とした。

土壌の採取方法は円筒状の土壌採取器具を用いて深度 20cm の土壌を試験区ごとに 3 箇所採取して分析試料とした。

なお、飼料用トウモロコシの栽培期間は 2012 年 4 月 24 日から 8 月 15 日で黄熟期に収穫して調査した。

結果及び考察

施用後の土壌中の放射性 Cs は、施用した堆肥の放射性 Cs 濃度に応じて、高い値となり、栽培後も施用後とほぼ同じ値となった。交換性 K_2O についても施用量に応じて高くなったが、収穫後は植物に吸収されたため全ての区で収穫後は、施用後と比較して低下した（表 17）。

このような土壌で飼料用トウモロコシをポット栽培したところ、表 18 のとおりとなり、化成区と比較して、放射性 Cs 含有堆肥を施用した区は若干高くなった。植物体中の放射性 Cs は、3000Bq/kg 以上の放射性 Cs 含有堆肥を 4 t /10a を施用すると 1~4Bq/kg（水分 80%補正）程度増加すると考えられたが、いずれの区も飼料の暫定許容値である 100Bq/kg（水分 80%補正）を大幅に下回った。

植物体中の K 濃度は、土壌の交換性 K_2O 濃度に応じて高くなる傾向であった。

表 15 飼料用トウモロコシポット栽培試験における供試堆肥の成分（原物中）

試験区	堆肥原料	放射性Cs (Bq/kg)	全窒素 (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	乾物率 (%)
400区	牛ふん、オガクズ	383	0.6	0.7	0.9	0.4	43
3000区	牛ふん、オガクズ、戻し堆肥	3,270	1.0	2.4	1.5	1.2	49
8000区	牛ふん、モミガラ	8,450	0.9	0.7	0.7	0.6	53
12000区	牛ふん、オガクズ	12,000	0.8	1.5	1.4	1.0	39

※堆肥施用時の濃度

表 16 飼料用トウモロコシポット栽培試験における堆肥及び化学肥料施用量

試験区	堆肥施用量 (t/10a)	化学肥料施用量 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/10a)
化成区	-	22-22-22
400区	4	20-0-0
3000区	4	18-0-0
8000区	4	15-0-0
8000区×2倍区	8	7-0-0
12000区	4	19-0-0

表 17 飼料用トウモロコシポット栽培試験における土壌成分

試験区	放射性Cs (Bq/kg乾土)		交換性K ₂ O (mg/100g乾土)		交換性CaO (mg/100g乾土)		交換性MgO (mg/100g乾土)	
	施用後	収穫後	施用後	収穫後	施用後	収穫後	施用後	収穫後
化成区	76	102	43	24	203	228	34	33
400区	116	111	49	25	226	251	38	36
3000区	282	256	110	73	262	292	52	56
8000区	436	405	51	26	236	250	46	41
8000区×2倍区	751	848	74	57	274	286	60	59
12000区	626	677	56	29	250	250	44	39

表 18 飼料用トウモロコシポット栽培試験における植物体中の成分及び収量

試験区	放射性Cs (Bq/kg 水分80%補正)	K (%乾物中)	K/(Mg+Ca) 当量比	乾物収量 (kg/10a)
化成区	10	1.8	2.6	1155
400区	10	1.8	2.6	1329
3000区	14	2.1	3.1	1422
8000区	13	1.8	2.5	1442
8000区×2倍区	13	1.7	2.8	1567
12000区	11	2.0	3.1	1609

試験 6 イタリアンライグラスポット栽培における放射性 Cs 含有堆肥施用試験

栽培土壤中放射性 Cs の影響を極力排除し、施用堆肥中放射性 Cs の影響をより明確にするため、低汚染土壌を用いたイタリアンライグラスのポット栽培試験を実施し、植物体への放射性 Cs の移行等の影響について明らかにする。

材料及び方法

(1) ポット栽培方法及び供試品種

栃木県内で採取した放射性 Cs 濃度が低い土壌（表層多腐植質黒ボク土）を樹脂製の栽培容器（穴無）に充填し、屋外で栽培試験を実施した（試験 5 と同一ロットの土壌を使用）。イタリアンライグラスは、樹脂製の箱型容器 79L（通称トロ船 上面内寸 85cm×54.8cm 高さ 18.7cm）を用い、3kg/10a の播種密度となるよう種子を散播した。なお、供試土壌中の放射性 Cs 濃度は 62Bq/kg 乾土、交換性 K_2O は 15mg/100g 乾土、交換性 CaO は 222mg/100g 乾土、交換性 MgO は 31mg/100g 乾土であった。

(2) 供試堆肥及び試験区

試験 2 で用いた放射性 Cs 濃度が異なる 3 種類の堆肥に、水分調整などにより一時的に作成した堆肥を加えた 4 種類の牛ふん堆肥を供試した（表 19）。試験区の設定及び施用量は、表 20 のとおりであり、400 区、3000 区、8000 区及び 8000 区×2 倍区の堆肥施用量は、試験 2 と同量で実施した。8000 区のみに 2 倍量区を設定した。なお、各試験区は 2 反復とした。

(3) 施肥設計及び施肥方法

施肥設計も試験 2 と同様に、各試験区とも窒素施肥量が農作物施肥基準の施肥水準となるように尿素肥料で補

正した（表 20）。なお、堆肥と土壌を混和して栽培容器入れ、化成肥料及び尿素肥料は、ほ場試験と同様に表層施用とした。

(4) 調査項目及び方法

試験 2 と同様とした。土壌の採取方法は円筒状の土壌採取器具を用いて 18.7cm の土壌を試験区ごとに 3 箇所採取して分析試料とした。

なお、イタリアンライグラスの播種日・施用日は 2012 年 10 月 10 日であり、1 番草は、出穂期（2013 年 4 月 18 日）、2 番草は、開花期（2013 年 5 月 20 日）に調査した。土壌のサンプリングは、堆肥施用後と 1 番草収穫後に行った。

結果及び考察

施用後の土壌中放射性 Cs は、施用した堆肥の放射性 Cs 濃度に応じて、試験 5 と同様に高い値となった（表 21）。

交換性 K_2O についても施用量に応じて高くなったが、1 番草収穫後は植物に吸収されたためいずれの区も収穫後は、施用後と比較して低下した（表 21）。

このような土壌でイタリアンライグラスを栽培したところ、植物体中放射性 Cs は表 22 のとおりとなり、1 番草は、化成区と比較して、放射性 Cs 含有堆肥を施用した区は若干高くなった。2 番草は化成区と 12000 区で 1 番草と比較して高くなった。いずれの区も飼料の暫定許容値である 100Bq/kg（水分 80%補正）を大幅に下回った。

植物体中の K 濃度は、土壌の交換性 K_2O 濃度に応じて高くなる傾向であった。

表 19 イタリアンライグラス栽培試験における供試堆肥の成分（原物中）

試験区	堆肥原料	放射性Cs (Bq/kg)	全窒素 (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	乾物率 (%)
400区	牛ふん、オガクズ	372	0.6	0.5	0.7	0.2	37
3000区	牛ふん、オガクズ、戻し堆肥	3,050	0.9	2.0	1.5	0.7	47
8000区	牛ふん、モミガラ	8,590	1.0	0.8	1.2	0.5	59
12000区	牛ふん、オガクズ	13,330	0.7	0.8	0.9	0.4	42

※堆肥施用時の濃度

表 20 イタリアンライグラス栽培試験における堆肥及び化学肥料施用量

試験区	堆肥施用量 (t/10a)		化学肥料施用量 (kg/10a)	
	原物	乾物	基肥 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	追肥 N
化成区	-	-	13-13-13	2
400区	3.5	1.3	11-0-0	2
3000区	3.1	1.5	10-0-0	2
8000区	2.7	1.6	8-0-0	2
8000区×2倍区	5.4	3.2	2-0-0	2
12000区	3.0	1.2	11-0-0	2

表 21 イタリアンライグラスポット栽培試験における土壌成分

試験区	放射性Cs (Bq/kg乾土)		交換性K ₂ O (mg/100g乾土)		交換性CaO (mg/100g乾土)		交換性MgO (mg/100g乾土)	
	施用後	収穫後	施用後	収穫後	施用後	収穫後	施用後	収穫後
化成区	117	240	38	18	228	222	33	35
400区	96	154	40	26	233	243	34	40
3000区	210	258	99	64	268	276	45	50
8000区	371	327	41	25	241	244	43	43
8000区×2倍区	524	552	59	45	258	270	50	56
12000区	520	422	48	27	240	257	39	44

表 22 イタリアンライグラスポット栽培試験における植物体中の成分及び収量

試験区	番草	放射性Cs (Bq/kg水分80%補正)		K (%乾物中)	K/(Mg+Ca) 当量比	乾物収量 (kg/10a)	
		1	2			1	2
化成区		5	9	1.7	1.8	495	207
400区		6	4	1.6	1.9	320	170
3000区		7	7	2.4	3.0	490	206
8000区		12	7	1.8	2.2	401	188
8000区×2倍区		7	4	1.9	2.5	207	210
12000区		15	19	2.0	2.3	515	240

参考文献

- 1) 23 消費案第 2444 号 23 生産第 3442 号 23 林政産第 99 号 23 水推第 418 号 平成 23 年 8 月 1 日制定
放射性セシウムを含む肥料・土壌改良材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について
- 2) 農作物施肥基準 平成 18 年 1 月 栃木県
- 3) 原田久富美 2014 飼料作物における放射性セシウム低減技術 日本土壌肥料学会誌 85(2), 107-112
- 4) 三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック 自給飼料利用研究会編 社団法人 日本草地畜産種子協会
- 5) 日本飼養標準 乳牛 (2006 年版)