

畜産物等放射性セシウム低減技術の開発

(飼料作物の草種及び土壌条件の違いによる吸収移行調査)

齋藤憲夫、増山秀人¹⁾、上野源一²⁾、齋藤栄、九石寛之³⁾、佐田竜一、酒向奈都美

1)現 農業大学校、2)現 河内農業振興事務所、3)現 農政部生産振興課

要 約

黒ボク土である畜産酪農研究センター内ほ場または現地ほ場において、平成 23 年度から 25 年度栽培された飼料作物の移行係数は、永年牧草であるオーチャードグラスを除き国際原子力機関で報告された平均値と同程度かそれ以下である。永年牧草 6 草種については、白クローバーの移行係数がやや高かいものの草種間に大きな差は見られない。

灰色低地土において平成 26 年度の永年牧草の植物体中 RCs 濃度は、黒ボク土と同様に一番草より二番道で上昇する傾向がある。その抑制のためには、一番草収穫後ではなく一番草生育前にカリを増肥することが有効である。

試験 I 草種別移行係数調査

目 的

平成 23 年 3 月の福島第 1 原子力発電所の事故によって放出された放射性物質が土壌を介して飼料作物の根から吸収され植物体中に移行することが問題となっている。しかし、その詳細はよく分かっていないので、飼料作物において草種別の放射性セシウム（以下 RCs）の移行係数などを調査し、移行係数が低い草種を選定する。

試験 I - 1 平成 23 年度調査

調査方法

(1) 調査場所

畜産酪農研究センター内ほ場または現地ほ場（飼料用稲及びミレットは現地ほ場のみ）

(2) 供試草種

飼料作物 5 草種（飼料用トウモロコシ、ソルガム、エンバク、スーダン、ミレット）

(3) 調査項目

植物体中 RCs 濃度及び土壌中 RCs 濃度（RCs 濃度はゲルマニウム半導体検出器により測定）

結 果

各草種の植物体中 RCs 濃度（水分 80%換算）及び移行係数（植物体中 RCs 濃度（乾物）／土壌中 RCs 濃度（乾土））は表 1 のとおりであった。なお、ミレットでは植物体中及び土壌中において RCs 濃度は検出限界値以下であった。

表 1 草種別調査結果（平成 23 年度）

草 種	植物体中 RCs濃度 ¹⁾	移行係数 ²⁾
飼料用トウモロコシ	3.0	0.075
ソルガム	4.1 ³⁾	0.029 ³⁾
エンバク	9.2	0.037
スーダングラス	32.1	0.032
ミレット	—	—

1) 値は平均値（単位は、Bq/kg(水分80%換算)）

2) 値は平均値

3) ¹³⁷Csのみの値

試験 I - 2 平成 24 年度調査

調査方法

(1) 調査場所

畜産酪農研究センター内ほ場（表層多腐植質黒ボク土）

(2) 供試草種

飼料作物 8 草種（オーチャードグラス、ライムギ、スーダングラス、ミレット、ソルガム、エンバク、イタリアンライグラス、飼料用トウモロコシ）

(3) 施肥量

慣行施肥（N-P-K 各 10 kg/10a、熔リン 50 kg/10a、苦土炭カル 100 kg/10a）

(4) 調査項目

植物体中 RCs 濃度及び土壌中 RCs 濃度（RCs 濃度はゲルマニウム半導体検出器により測定）、並びに土壌中交換性カリウム（以下、カリ）含量（原子吸光法に

より測定)

結果

各草種を栽培した土壌の RCs 濃度及び交換性カリ含量は表2のとおりであった。

また、各草種の植物体中 RCs 濃度（水分80%換算）及び移行係数（植物体中 RCs 濃度（乾物）／土壌中 RCs 濃度（乾土））は表3のとおりであった。

表2 土壌条件（平成24年度）

草種	土壌中 RCs濃度 ¹⁾	交換性カリ含量 ²⁾
オーチャードグラス(新播)	933	11.6
ライムギ	563	11.4
スーダングラス	1,094	14.0
ミレット	1,094	14.0
ソルガム	1,099	14.0
エンバク	754	—
イタリアンライグラス	1,969	48.2
飼料用トウモロコシ	413	52.9

1) 単位は、Bq/kg(乾土)

2) 単位は、mg/100g(乾土)

表3 草種別調査結果（平成24年度）

草種	植物体中 RCs濃度 ¹⁾	移行係数 ²⁾
オーチャードグラス(新播)	59 (20.8~69.0)	0.249 (0.0844~0.594)
ライムギ	8 (1.8~13.8)	0.058 (0.0158~0.1224)
スーダングラス	3 (3.1~3.6)	0.015 (0.0143~0.0164)
ミレット	3 (2.6~4.1)	0.015 (0.0117~0.017)
ソルガム	2 (2.2~3.0)	0.012 (0.0091~0.016)
エンバク	1 (0.8~3.0)	0.008 (0.005~0.0187)
イタリアンライグラス	5	0.01 (0.005~0.0187)
飼料用トウモロコシ	5 (4.6~5.2)	0.060 (0.0559~0.0632)

1) 値は平均値(単位は、Bq/kg(水分80%換算))
下段の()内は、最小値~最大値

2) 値は幾何平均値
下段の()内は、最小値~最大値

試験I-3 平成25年度調査

調査方法

(1) 調査場所

畜産酪農研究センター内ほ場（表層多腐植質黒ボク土）

(2) 供試草種

永年牧草 6 草種（オーチャードグラス、チモシー、トールフェスク、ペレニアルライグラス、白クローバー、赤クローバー）

(3) 施肥量

慣行施肥 (N-P-K 各 10 kg/10a、熔リン 50 kg/10a、苦土炭カル 100 kg/10a)

(3) 調査項目

試験 I-2 と同様とした。

結果

永年牧草は6草種とも同一のほ場で栽培し、土壌中 RCs 濃度は 663Bq/kg(乾土)、交換性カリ含量は 27.4mg/100g(乾土)であった。

また、各草種の一番草の植物体中 RCs 濃度（水分80%換算）及び移行係数（植物体中 RCs 濃度（乾物）／土壌中 RCs 濃度（乾土））は表4のとおりであった。

表4 草種別調査結果（平成25年度）

草種	植物体中 RCs濃度 ¹⁾	移行係数
オーチャードグラス	3.5	0.028
チモシー	2.1	0.016
トールフェスク	2.3	0.018
ペレニアルライグラス	4.4	0.033
赤クローバー	2.6	0.020
白クローバー	5.7	0.043

1) 単位は、Bq/kg(水分80%換算)

考察

平成23年度の調査において、土壌(乾土)から植物体(乾物)への RCs の移行係数は、飼料用トウモロコシでは 0.075 であり、国際原子力機関(以下、IAEA)で報告¹⁾された平均値 0.073(最小値 0.003~最大値 0.49)と同程度であった。また、ソルガム、エンバク及びスーダンでは、それぞれ 0.029、0.037 及び 0.032 と、IAEA で報告¹⁾されたイネ科牧草の平均値 0.063(最小値 0.0048~最大値 0.99)と比較すれば2分の1程度であった。

平成24年度の調査において、冬作の飼料作物であるオーチャードグラス(新播)、ライムギ及びイタリアンライグラスを追加して調査を実施したところ、永年牧草であるオーチャードグラスの移行係数が平均値 0.249(最小

値 0.0844～最大値 0.594) と比較的高かった。また、飼料用トウモロコシ及びライムギの移行係数は、IAEA の報告¹⁾と同水準であった。また、それ以外の草種については最大値で 0.0187 以下と比較的低い値であった。

平成 25 年度の調査において、平成 24 年度の調査で移行係数が比較的高かった永年牧草について調査を実施したところ、移行係数は 6 草種とも IAEA の報告¹⁾と比較して低い値となった。この理由としては、福島第 1 原子力発電所の事故後に耕起を行ったほか、土壌中の交換性カリ含量が比較的高かったことが考えられた。6 草種のなかでは、白クローバーの移行係数がやや高い値となったものの、草種間に大きな差は見られなかった。

試験Ⅱ 灰色低地土における調査

目的

試験Ⅰの調査場所はすべて黒ボク土であったため、異なる土壌群における永年牧草の移行係数等について調査を実施する。特に、永年牧草の植物体中 RCs 濃度が一番草より二番草で上昇する²⁾傾向について確認するとともに、抑制のための施肥方法を検討する。

試験Ⅱ－1 灰色低地土(砂質)における調査

調査方法

(1) 調査場所

日光市農家永年牧草(オーチャードグラス)栽培ほ場(平成 25 年秋播き)

(2) 土壌条件(平成 26 年 4 月 16 日採取)

ア 土壌群	灰色低地土(砂質)
イ RCs 濃度	229Bq/kg(乾土)
ウ 交換性カリ含量	50.5mg/100g(乾土)

(3) 試験区設定

施肥時期及び施肥量は表 5 のとおりとし、表面施肥を行った。一番草生育前は平成 26 年 4 月 16 日に施肥を行った。また、資材には、K0-0 区の一番草生育前の施肥には尿素及び熔リンを、そのほかの施肥には化成オール 14 及び塩化カリを用いた。

表 5 各試験区の施肥時期及び施肥量

試験区名	一番草 生育前	一番草 収穫後	合計
0-0区	—	—	0-0-0
K0-0区	10-10-0	—	10-10-0
K10-0区	10-10-10	—	10-10-10
K20-0区	10-10-20	—	10-10-20
K30-0区	10-10-30	—	10-10-30
K40-0区	10-10-40	—	10-10-40
K10-10区	10-10-10	0-0-10	10-10-20
K10-20区	10-10-10	0-0-20	10-10-30
K10-30区	10-10-10	0-0-30	10-10-40
0-K40区	—	10-10-40	10-10-40

※ 値は、施肥量(N-P-Kの成分値kg/10a)

なお、1 試験区の面積を 8m²(4×2m) とし、反復はとらなかった。

(4) 調査方法

牧草については、一番草(平成 26 年 5 月 12 日収穫)、二番草(6 月 16 日収穫)及び三番草(7 月 29 日収穫)の収穫物を採取し、植物体中 RCs 含量を測定した。三番草以降は雑草がまん延したため、四番草以降の超は行わなかった。

土壌については、各番草の収穫直後に深さ 15cm まで採取し、土壌中の RCs 含量及び交換性カリ含量を測定した。

なお、RCs 濃度はゲルマニウム半導体検出器により、交換性カリ含量は原子吸光法により測定した。

結果

(1) 試験区・番草ごとの植物体中 RCs 濃度(水分 80%換算)は表 6 のとおりであり、全ての試験区において二番草が一番草及び三番草より高い値であった。

表 6 植物体中 RCs 濃度(試験Ⅱ－1)

試験区名	一番草	二番草	三番草
0-0区	0.3	2.4	0.9
K0-0区	0.5	1.1	0.5
K10-0区	0.2	1.1	0.3
K20-0区	0.3	1.4	0.9
K30-0区	0.3	1.8	0.6
K40-0区	0.2	1.9	0.5
K10-10区	0.3	2.0	0.5
K10-20区	0.3	2.5	0.5
K10-30区	0.5	2.7	0.6
0-K40区	0.5	1.7	0.6

※ 値は、Bq/kg(水分 80%換算)

(2) 試験区・番草ごとの土壌（乾土）中の交換性カリ含量は表 7 のとおりであり、必ずしもカリの施肥量に応じた値とはならなかった。

表 7 土壌中交換性カリ含量（試験Ⅱ－1）

試験区名	一番草 収穫時	二番草 収穫時	三番草 収穫時
0-0区	57.4	48.8	48.0
K0-0区	48.4	33.5	48.6
K10-0区	55.3	40.9	43.6
K20-0区	55.9	43.0	48.9
K30-0区	87.0	45.5	58.5
K40-0区	57.3	55.0	51.8
K10-10区	47.8	45.8	49.6
K10-20区	42.5	35.7	37.5
K10-30区	37.7	31.2	30.3
0-K40区	42.0	53.1	51.0

※ 値は、mg/100g(乾土)

表 8 植物体（乾物）への移行係数（試験Ⅱ－1）

試験区名	一番草	二番草	三番草
0-0区	0.004	0.034	0.018
K0-0区	0.012	0.022	0.013
K10-0区	0.004	0.026	0.008
K20-0区	0.007	0.035	0.018
K30-0区	0.007	0.043	0.013
K40-0区	0.004	0.050	0.012
K10-10区	0.006	0.042	0.009
K10-20区	0.004	0.044	0.008
K10-30区	0.011	0.062	0.012
0-K40区	0.010	0.045	0.013

※ 土壌中RCs濃度(乾土)は収穫時の値を使

(3) 土壌中の RCs が牧草の根から吸収され植物体（地上部）に移行した程度を表す指標として、試験区・番草ごとに移行係数（（植物体中 RCs 濃度（乾物）／牧草収穫時の土壌中 RCs 濃度（乾土））を算出したところ表 8 のとおりであった。全ての試験区において二番草が一番草及び三番草より高い値であったが、必ずしもカリの施肥量に応じて低下する傾向とはならなかった。

試験Ⅱ－2 灰色低地土（壤質）における調査

調査方法

(1) 調査場所

那須塩原市農家永年牧草（混播（オーチャードグラス主体））栽培ほ場（平成 25 年秋播き）

(2) 土壌条件（平成 26 年 4 月 16 日採取）

ア 土壌群 灰色低地土（壤質）
イ RCs 濃度 799Bq/kg（乾土）
ウ 交換性カリ含量 23.1mg/100g（乾土）

(3) 試験区設定

試験Ⅱ－1と同様とした。

(4) 調査方法

一番草を平成 26 年 5 月 26 日に、二番草を 7 月 2 日に、三番草を 8 月 13 日に、四番草を 9 月 29 日に収穫した。そのほかの調査方法については、試験Ⅱ－1と同様に実施した。

結果

表 9 植物体中 RCs 濃度（試験Ⅱ－2）

試験区名	一番草	二番草	三番草	四番草
0-0区	3.8	6.5	5.4	4.8
K0-0区	3.4	6.5	3.5	5.2
K10-0区	3.1	3.5	3.6	4.7
K20-0区	2.7	3.8	4.5	3.8
K30-0区	3.0	3.5	3.7	4.4
K40-0区	3.2	4.1	4.0	3.8
K10-10区	4.0	4.1	4.2	4.8
K10-20区	3.9	5.6	4.3	5.4
K10-30区	2.8	6.7	6.4	4.1
0-K40区	3.2	9.7	4.3	4.1

※ 値は、Bq/kg(水分80%換算)

(1) 試験区・番草ごとの植物体中 RCs 濃度は表 9 のとおりであり、全ての試験区において二番草が一番草より高い値であった。また、K10-10 区以外の試験区では二番草又は三番草が一番草から四番草のなかで最も高い値であった。K10-10 区では、四番草が最も高い値であった。

(2) 試験区・番草ごとの土壌中交換性カリ含量は表 10 のとおりであり、カリの施肥量が多いほど上昇する傾向がみられ、二番草収穫時においてはおおむねカリの施肥量に応じた値となった。

表 10 土壤中交換性カリ含量 (試験Ⅱ-2)

試験区名	一番草 収穫時	二番草 収穫時	三番草 収穫時	四番草 収穫時
0-0区	8.4	9.2	13.4	9.7
K0-0区	12.5	15.4	9.2	11.5
K10-0区	20.8	16.2	14.3	12.6
K20-0区	29.5	24.9	18.4	19.6
K30-0区	28.7	30.5	26.4	21.2
K40-0区	60.4	47.9	46.7	30.4
K10-10区	26.0	26.3	23.7	26.6
K10-20区	32.7	47.6	37.6	25.1
K10-30区	16.0	51.3	52.8	22.6
0-K40区	20.0	38.3	42.4	28.8

※ 値は、mg/100g(乾土)

(3) 試験Ⅱ-1の結果(3)と同様に移行係数を算出したところ表 11 のとおりであり、K10-10 区及び K10-20区を除く試験区では二番草又は三番草が一番草から四番草のなかで最も高い値であった。K10-10 区及び K10-20 区では、四番草が最も高い値であった。

表 11 植物体(乾物)への移行係数(試験Ⅱ-2)

試験区名	一番草	二番草	三番草	四番草
0-0区	0.022	0.021	0.065	0.026
K0-0区	0.035	0.041	0.025	0.020
K10-0区	0.021	0.012	0.074	0.010
K20-0区	0.013	0.030	0.019	0.012
K30-0区	0.009	0.027	0.009	0.030
K40-0区	0.018	0.022	0.019	0.025
K10-10区	0.016	0.016	0.012	0.033
K10-20区	0.016	0.024	0.022	0.035
K10-30区	0.016	0.051	0.052	0.018
0-K40区	0.023	0.030	0.030	0.013

※ 土壤中RCs濃度(乾土)は収穫時の値を使用

考 察

2つの試験のすべての試験区で、二番草の植物体中 RCs 濃度は一番草より高い結果となったことから、灰色低地土においても、永年牧草の植物体中 RCs 濃度が一番草より二番道で上昇ことが確認された。

また、二番草の植物体中 RCs 濃度について、合計では同量のカリ施肥を行った K20-0 区と K10-10 区、K30-0 区と K10-20 区並びに K40-0 区と K10-30 区の組合せで比

較すると、試験Ⅰ及び試験Ⅱのいずれの組合せでも前者が低い値であることから、二番草の植物体中 RCs 濃度の上昇を抑えるためには一番草収穫後ではなく一番草生育前にカリを増肥することが有効であると考えられた。なお、試験Ⅱ-1の二番草において0-K40区はK40-0区よりも植物体中 RCs 濃度が低かったが、試験Ⅱ-2において0-K40区は植物体中 RCs 濃度が最も高くなっており、牧草の生育による RCs 濃度の希釈効果など安定性に欠ける要因があると思われた。

カリ施肥が土壤中交換性カリ含量に与える影響について、試験Ⅱ-1では必ずしもカリの施肥量に応じた値とはならなかったのに対して、試験Ⅱ-2ではおおむねカリの施肥量に応じた値となった。これは試験前の交換性カリ含量が試験Ⅱ-2では 23.1mg/100g と比較的低い水準であったためカリの施肥によく反応したためと考えられた。

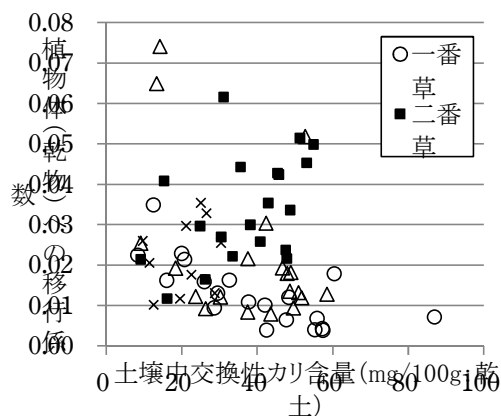


図 1 土壤中交換性カリ含量と移行係数の分布図

試験Ⅱ-1及び試験Ⅱ-2について、土壤中交換性カリ含量と移行係数(植物体中 RCs 濃度(乾物)/牧草収穫時の土壤中 RCs 濃度(乾土))の関係について分布図を作成すると図 1 のとおりであった。二番草及び三番草に移行係数が比較的高いポイントが散見されるが、交換性カリ含量が高いと移行係数が低くなるなどの明確な関係はみられなかった。これは、土壤中の RCs が均一に分布しておらずサンプル採取時のバラツキを大きくしたためであると考えられた。

参考文献

- 1) 2010, IAEA Technical Reports Series No.472
- 2) 2015, 栃木県畜産酪農研究センター研究報告 第3号, p11