

カリウムによるコナラ萌芽枝への放射性セシウム 137 の吸収抑制効果

福田研介¹・田野井慶太郎²・小林奈通子²

1 茨城県林業技術センター

2 東京大学大学院生命科学研究所

要旨：茨城県内の施業履歴の異なるコナラ林へ塩化カリ肥料を施用し、カリウムによるコナラ萌芽枝への放射性セシウム 137 (以下「¹³⁷Cs」) の吸収抑制効果を調査した。調査地は、県内 3 市 4 林分 (1, 3, 5, 6 年生) に設定し、塩化カリ肥料の量は 2 段階 (400kg/ha, 800kg/ha) を設定し林床に施用した。施用 1 年後に土壌の交換性カリウム量 (以下「Ex-K」) と当年枝の ¹³⁷Cs 濃度を調査したところ、散布区の Ex-K 量は上昇し、当年枝 ¹³⁷Cs の散布前と比較した濃度比が 2 調査地の散布区で有意に低下していた。さらに施用 2 年後の調査でも同濃度比が有意に低下し、¹³⁷Cs 吸収抑制効果が継続していることが確認できた。

キーワード：放射性セシウム, 萌芽枝, 当年枝, 交換性カリウム, コナラ

Suppressive effect of radioactive cesium absorption by application of potassium to stump sprouts of *Quercus serrata*

Kensuke FUKUDA¹, Keitaro TANOI², Natsuko I.KOBAYASHI²

¹Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute, To 4692, Naka,Ibaraki 311-0122

²Graduate School of Agricultural Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8657

Abstract: Applying potassium chloride fertilizer to the Quercus Forest, which has a different record in Ibaraki Prefecture, the absorption depression effect of radioactive cesium 137 to the stump sprouts of *Quercus serrata* by the potassium was investigated. The 4 survey sites are set in 3 cities (1, 3, 5 and 6 grade trees) in the prefecture. The amount of potassium chloride fertilizer was set in two stages (400kg / ha, 800kg / ha) and applied to the forest floor. One year after application, the amount of exchangeable potassium in the soil and the concentration of ¹³⁷Cs in the current branch were investigated. The amount of exchangeable potassium in the spray area increased, and the concentration ratio compared to that before spraying of ¹³⁷Cs in the current branch was statistically significant decreased in the spray area at the two survey sites. Furthermore, in the survey two years after application, it was confirmed that the concentration ratio decreased statistically significant and the ¹³⁷Cs absorption suppression effect continued.

Key words: radioactive cesium, stump sprouts, current branch, exchangeable potassium, *Quercus serrata*

I はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故で放出された放射性セシウムの影響により、茨城県内の一部地域のしいたけ等のきのこ用原木林は指標値を超え利用が難しい状況が続いている。

これまでに、カリウム肥料を原木伐採後に再生した萌芽枝及び自生した幼齢木、植栽した幼齢木への施用による放射性セシウム 137 (以下「¹³⁷Cs」) の吸収抑制効果が確かめられた(2)が、水田等に施用される量に比べ 10 倍以上の量を 3 か年にわたり施用した事例であることから、初回 1 回のみでの施用で水田等の施用濃度、且つ、伐採後の施業履歴が違う萌芽枝においても同様の ¹³⁷Cs 吸収抑制効果が得られるのかは明らかにされていない。

そこで、県内 3 市 4 林分の施業履歴が異なる原木林においてカリウム肥料のコナラ萌芽枝に対する ¹³⁷Cs 吸収抑制効果、土壌の交換性カリウム (以下「Ex-K」) 量の変化及び継続性を明らかにすることを目的に調査を実施した。

II 材料と方法

1. 調査地 茨城県内の県北・県南・鹿行地域の 3 市 4 林分 (いずれも伐採跡地) に調査地を設けた (表-1)。県南地域は平成 28 年 3 月に伐採され 4 月以降成長をはじめた 1 年生萌芽林 (調査地 A, 以下「A」) で、平成 29 年 1 月の空間線量率は平均 0.080μ Sv/h、鹿行地域は平成 25 年 1～2 月に伐採され 4 月以降に成長をはじめた 3 年生林萌芽林 (調査地 B, 以下「B」)

で、平成 29 年 1 月の空間線量率は、平均 0.073 μ Sv/h、
 県北地域は平成 23 年 12 月から 3 月にかけて伐採され
 た 5 年生萌芽林 (調査地 C 5 (5 年生), 以下「C 5」)
 で、平成 29 年 2 月の空間線量率は、平均 0.054 μ Sv/h、
 隣接し平成 22 年 12 月から平成 23 年 3 月 (福島第一
 原子力発電所事故直前) にかけて伐採された 6 年生萌
 芽林 (調査地 C 6 (6 年生), 以下「C 6」) で平成
 29 年 2 月の空間線量率は平均 0.057 μ Sv/h である。

各調査地には、対照区、カリウム施用区 (以下「K
 区」), カリウム 2 倍施用区 (以下「K 2 区」) を設
 け、各区の境界から 5 m 以上離れた萌芽個体 12 株 (調
 査地により少ない場所もあり) を選び調査木とした。

散布するカリウムの種類は、一般的な肥料として安
 価かつ入手しやすい塩化カリウム肥料 (水溶性カリ
 60%) とした。散布量は、土壌中の Ex-K 量の目標量
 を水稻での施用基準(3)と同じ 25mgK₂O/100g 乾土 (単
 位は以下同じなので mg と表記する) とし、調査地にお
 ける土壌中の Ex-K 量の初期値が平均して約 10mg
 であったことから、不足する 15mg 相当を施用するこ
 ととした。土壌の比重を 1、深さを 15cm と仮定し、
 塩化カリウム肥料を 400kg/ha 散布すると、K₂O 換算で
 240kg/ha、K 換算で 200 kg/ha 散布することとなり、概
 ね K₂O が 16mg 増加することから、K₂O の目標量 25mg
 に到達すると考えられるため、K 区には 400kg/ha を標
 準施用量とした。また、土壌条件によって十分に効果
 が現れない林分を想定したほか、濃度障害等の問題発
 生を確かめるため K 2 区は 2 倍の 800kg/ha を施用した
 (カリ肥料施用年月日は表-2 参照)。

2. 材料 リター層及び土壌の初期値の計測試料を得
 るため (試料採取年月日は表-1 参照), 各区内におい
 て約 10m 間隔で 4~5 点を選び、25cm 角の正方形内

(株式会社 藤原製作所 手動式土壌試料採取器
 HSC-20) を用いて、0~5 cm, 5~10cm, 10~15cm
 の 3 層を各 3 本分採取した。リター層、土壌は風乾し、
 リター層についてはミルサーで細かく粉砕して ¹³⁷Cs
 濃度を、土壌からは小石やゴミを取り除き 2 mm メッ
 シュの篩で調整した後、¹³⁷Cs 濃度、Ex-K を測定した。
¹³⁷Cs は、ゲルマニウム半導体検出器を用い測定した。

Ex-K は、採取・調整した土壌から 3 g を取り出し、
 1 M 酢酸アンモニウム 30ml を添加し、30 分間振盪の
 後、12~24 時間以内で静置した。その上澄みをペーパ
 ー濾紙 (ADVANTEC 社製 No. 2) を使用し、重力で落
 下させ濾過した。濾液を 1ml、純水を 9 ml 加えて 10 倍
 に希釈した分析液を作成し、ICP-OES を用いて測定し
 た (土壌肥料学会編の方法書に準拠(I))。

2 年目以降は、土壌については Ex-K 量のみ測定す
 ることから、採取には線虫スコープを使用し、深さ 0
 ~5 cm, 5~10 cm, 10~15 cm に分けて 3 穴分を分析用
 試料とし、同様の抽出手法、計測手法を用いた。

コナラの樹体が吸収した ¹³⁷Cs の評価のため、萌芽
 枝は当年に生長した枝 (以下「当年枝」) を分析する
 こととし、落葉後の休眠期に当たる 12 月中下旬に採
 取した。採取したもののうち、太さ 8 mm 未満の部分
 を 2~3 cm 程度に切断し、採取量に応じた測定用容器
 (丸型 V 式 V-11 容器 (直径 128mm 深さ 76mm) 及び
 U 8 容器等) に詰め、ゲルマニウム半導体検出器を用
 いて測定した。測定時間は ND 値が一桁台となるよう
 時間をかけることとし、材料の採取量が少ない場合に
 は最大 4 万秒まで時間をかけて計測した。

III 結果と考察

散布前の当年枝の ¹³⁷Cs (初期値) に対する散布 10

表-1. 試験地における初期値 (平均値)
 Table 1. Initial value (average value) at the test site

調査地	試験区	放射性セシウム ¹³⁷ (Bq/kg乾重)					交換性カリウム	空間線量率 (μ Sv/h)	面積 (m^2)
		萌芽個体		土壌			0-15cm平均 (K ₂ Omg/100g乾土)		
		個体数	当年枝	リター	0-5cm	5-10cm	10-15cm		
A	対照区	12	63.5	674.7	862.5	63.1	12.5	11.57	525
	K 区	12	76.2	659.2	800.1	98.2	19.2	14.10	625
	K 2 区	12	55.7	404.1	607.5	100.9	23.1	14.39	675
B	対照	12	73.0	205.9	823.6	213.3	57.1	13.91	253
	K 2 区	8	59.0	365.4	684.1	149.6	35.1	15.48	381
C 5	対照区	11	22.5	196.5	262.2	58.3	14.1	13.12	525
	K 区	12	30.3	119.0	329.3	33.0	5.2	16.08	800
C 6	対照区	12	148.0	166.5	375.7	55.4	14.3	14.26	700
	K 区	12	148.0	358.4	397.6	33.0	7.5	11.54	1,350
	K 2 区	12	147.6	575.3	543.9	74.3	19.9	11.75	1,125

※ 各試験区のリター及び土壌は約 5 点ずつ。空間線量率は土壌採取地点で計測。

※ 当年枝採取は、A : H28/12/21 B : H29/ 1/ 6 C : H28/12/19

※ 土壌採取は、A : H28/11/30 B : H29/ 1/12 C : H28/12/ 6

のリター層を採取し、その下の土壌については採土管 か月後及び 22 か月後の ¹³⁷Cs の濃度比を示す (図一

1)。各試験区における初期値の当年枝 ^{137}Cs 濃度に対する施用約 10 か月後の当年枝 ^{137}Cs 濃度比を比較したところ、C 6 の K 区及び K 2 区では、それぞれ 37% 及び 40% の有意な低下が認められた（両者とも $P < 0.01$ ）。また、A の K 区及び K 2 区においてもそれぞれ 49% 及び 42% の有意な低下が認められた（両者とも $P < 0.01$ ）。しかし、B の K 2 区は、約 10 か月後は有意な差が認められず、約 22 か月後になって有意な差が認められるまで低下した（ $P < 0.05$ ）。

土壌中の Ex-K 調査の結果、A、B、C 5、C 6 の深さ 0～15cm の Ex-K 濃度初期値は平均で 13.35 (A)、14.69 (B)、14.60 (C 5)、12.39 (C 6) mg であった。施用約 8 か月後の A、C 5、C 6 の K 区における深さ 0～15cm の Ex-K 濃度は、15.37 (A)、29.49 (C 5)、24.75 (C 6) mg であり、A では目標とした 25mg に達しなかったが、C ではほぼ達していた（0～5 cm に限れば A も達していた）。また、A、B、C 6 の K 2 区における Ex-K 濃度は、16.48 (A)、40.82 (B)、26.21 (C 6) mg であり、K 区同様 A は目標とした 25mg 乾土に達せず、B、C 6 では達していた。

更に約 1 年後となる施用約 20 か月後には、A、C 5、C 6 の K 区における深さ 0～15cm の Ex-K 濃度は、18.10 (A)、20.64 (C 5)、18.47 (C 6) mg であり、A では目標とした 25mg に達しなかったが微増し、C 5、C 6 では微減した。0～5 cm に限れば A が達していたのは約 8 か月後と同様であった。また、A、B、C 6 の K 2 区における Ex-K 濃度は、30.47 (A)、35.11 (B)、21.16 (C 6) mg であり、C 6 で微減したことを除き目標とした 25mg に達していた（表-2）。

以上の結果から、施用約 8 か月後には土壌の深さ 0～5 cm の Ex-K 濃度 (K_2O) が対照区に比べ増加することに伴い、萌芽枝の当年枝の ^{137}Cs 濃度が低下することが示された（図-2）。また、平成 22 年 11 月に皆伐した設定時 6 年生の C 6 においても、図-1 に示すようにカリウムの施用効果が認められたことから、最大 6 年生のコナラ萌芽林においても吸収抑制効果が出る可能性があることが示唆された。さらに、A では施用約 8 か月後の 0～15cm の増加はほとんどなく、0～5 cm のみの増加に留まったのに対し、B、C 5、C 6 では深さ 15cm への浸透が早かったが、施用約 20 か月後になると、0～15cm で A では Ex-K が増加したのに対して B、C 5、C 6 は減少に転じるなど、散布量に対して施用約 8 か月後、約 20 か月後の Ex-K 濃度には試験区によって大きな違いが現れた。これには土壌中の粘土鉱物組成の違いが影響している可能性が考え

られた。また、この傾向と、当年枝との間には明確な相関は無かったが、一度大きく ^{137}Cs が吸収抑制された個体の当年枝は、施用約 20 か月後に土壌中の Ex-K 濃度が減少した B、C 5、C 6 でも増加する傾向はなかった。

IV おわりに

異なる林齢や土壌条件のコナラ萌芽林へカリウム肥料を施用することによって、指標値 50Bq/kg を超えていた最大 6 年生のコナラ萌芽林においても ^{137}Cs 吸収抑制効果により平均値が指標値以下となったことを確認することができた。

ただし、今回の成果はカリウム肥料施用後 2 年間の効果の検証である。土壌中の Ex-K 量変化や当年枝への吸収抑制効果の残効期間については、土壌により異なることが明らかとなったことから、コナラ樹体中の ^{137}Cs が、自然減衰以外の要因によりどのように変化するのかについては未知であるため、継続した調査が必要である。

謝辞

当年枝の一部の放射性セシウム分析は森林総合研究所及び東京大学放射線植物生理学研究室に、土壌中の交換性カリウム分析は東京大学放射線植物生理学研究室に御協力をいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。なお、本研究は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業 放射能汚染地域におけるシイタケ原木林の利用再開・再生技術の開発(28028C)」にて実施した。

引用文献

- (1) 土壌環境分析法編集委員会(1997) 交換性陽イオン 簡易法・バッチ法. 土壌環境分析法, 日本土壌肥料学会監修. 427p, 博友社, 東京. 216-218
- (2) 福田研介・井坂達樹・高田守男(2018) コナラ植栽幼齢木・自生した幼齢木・萌芽枝へのカリウム施用による放射性セシウム吸収抑制効果. 関東森林研究 69(1): 43-46
- (3) KATO,N. KIHOU,N. FUJIMURA,S. IKEBA,M. MIYAZAKI,NSAITO,Y. EGUCHI,T. and ITOH,S.(2015) Potassium fertilizer and other materials as countermeasures to reduce radiocesium levels in rice: Results of urgent experiments in 2011 responding to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Soil science and plant nutrition 61(2): 179-190

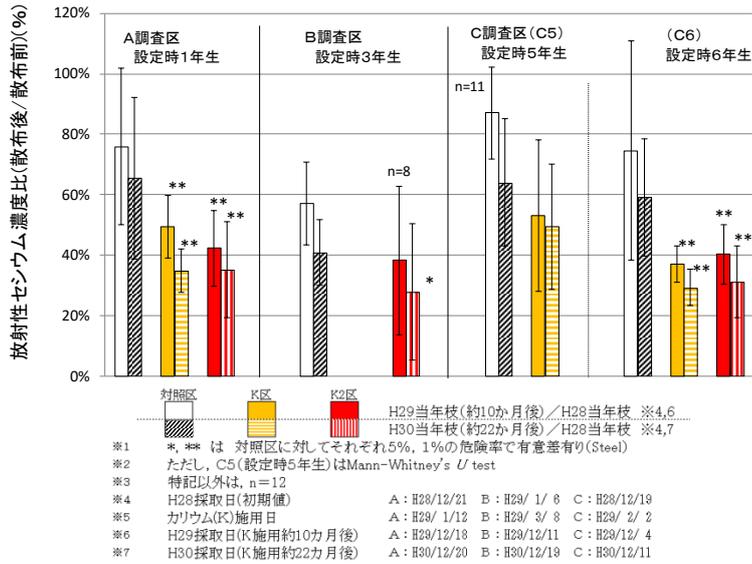


図-1. 更新年の異なる萌芽林の当年枝のカリウム施用効果 (10 及び 22 か月後)
 Fig 1. Potassium application effect of the current year branch of stump sprout with different renewal years

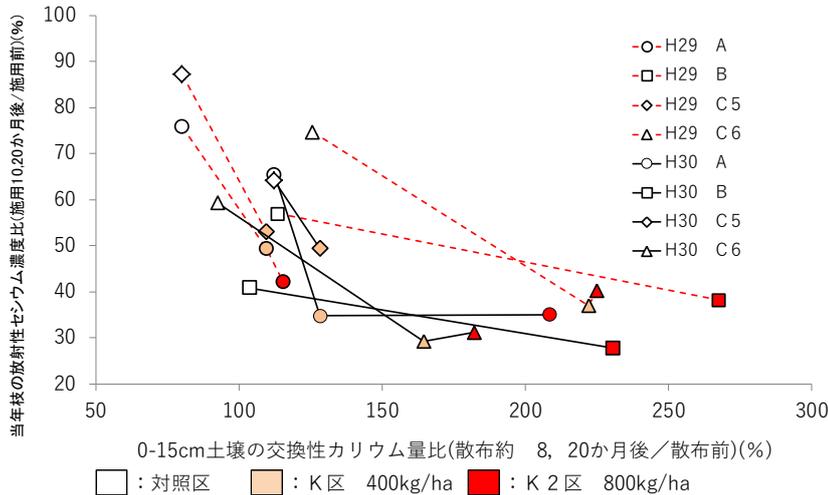


図-2. カリウム施用後 8 及び 20 か月後の土壌の交換性カリウム量比と 10 及び 22 か月後の当年枝の放射性セシウム濃度比の関係

Fig 2. Relationship between the ratio of exchangeable potassium in soil 8 and 20 months after potassium application and the concentration ratio of radioactive cesium in the current year branch 10 and 22 months after different renewal years

表-2. 土壌中の交換性カリウム量の変化 (平均値)

Table 2. Changes on the exchangeable potassium of soil 単位: mgK₂O/100g乾土

	初期値 ※2				カリウム施用約8か月後 ※4				カリウム施用約20か月後 ※5				
	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	
A	対照区	15.77	10.07	8.88	11.57	12.55	8.32	7.33	9.40	20.40	10.54	7.90	12.95
	K区	22.67	10.49	9.12	14.10	23.52	12.64	9.97	15.37	27.32	15.36	11.63	18.10
	K2区	20.88	12.24	10.06	14.39	25.60	13.56	10.29	16.48	45.79	25.35	20.25	30.47
	全平均値	13.35											
B	対照区	22.26	10.71	8.74	13.91	22.68	13.27	10.68	15.54	21.13	13.50	8.52	14.38
	K2区	24.75	12.06	9.62	15.48	58.42	37.24	26.80	40.82	48.47	29.49	27.36	35.11
	全平均値	14.69											
	初期値 ※2	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm
C-5	対照区	18.84	11.04	9.49	13.12	29.97	15.28	10.06	18.43	17.14	10.54	8.46	12.05
	K区	22.63	13.88	11.72	16.08	50.69	22.96	14.82	29.49	26.43	20.53	14.94	20.64
	全平均値	14.60											
	初期値 ※2	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm	0-15cm
C-6	対照区	21.09	11.90	9.78	14.26	30.67	12.48	10.50	17.88	18.75	11.71	8.93	13.13
	K区	15.77	9.93	8.94	11.54	34.80	22.48	16.96	24.75	23.03	16.91	15.48	18.47
	K2区	16.25	10.22	8.77	11.75	39.90	21.40	17.34	26.21	25.69	18.91	18.89	21.16
	全平均値	12.39											

※1 値は、調査区の平均値
 ※2 カリウム施用前(初期値) A: H28/11/30 B: H29/ 1/12 C: H28/12/ 6
 ※3 カリウム施用 A: H29/ 1/12 B: H29/ 3/ 8 C: H29/ 2/ 2
 ※4 施用約8か月後 A: H29/11/ 7 B: H29/11/ 7 C: H29/11/20
 ※5 施用約20か月後 A: H30/10/18 B: H30/10/30 C: H30/10/22