

N-3 低カリウムきのこ栽培用培地を用いたセシウムの濃縮・回収に関する研究

○ 山崎 寛登¹・池田 匠児²・山田 真義¹・山口 善敬³・八木 史郎⁴
井口 晃徳⁵・重松 享⁵・山口 隆司⁶・山内 正仁^{1*}

¹鹿児島工業高等専門学校 都市環境デザイン工学科 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

²鹿児島工業高等専門学校 土木工学専攻 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

³鹿児島県環境技術協会 環境分析部 (〒891-0132 鹿児島県鹿児島市七ツ島1-5)

⁴鹿児島大学名誉教授 (〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24)

⁵新潟薬科大学 応用生命科学部 (〒956-8603 新潟県新潟市秋葉区東島265-1)

⁶長岡技術科学大学大学院 技術科学イノベーション系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

* E-mail:yamauti@kagoshima-ct.ac.jp

1. はじめに

東日本震災以降、農作物から国が定めた「食品中の放射性物質の新たな基準値」を超える放射線量が検出され社会問題になっている。放出された放射性物質は主としてヨウ素 131, Cs-134, Cs-137 である。ただし、長期的に問題となるのは半減期が約 30 年の Cs-137 である。放射性物質を人為的に無害化することは困難であり、その対策として管理された区域に放射性 Cs を封じ込める技術として、プルシアンブルーを用いた除染技術の開発が盛んに行われ、ラボスケールではその効果が確認されているが実用化には達していない^{1),2)}。またフィールド実験において、土壤に蓄積した放射性 Cs に対して Cs の回収のし易さからヒマワリのファイトレメディエーション効果について検討されたが、10a 分のヒマワリが吸収する放射性 Cs は 0.085%に過ぎず、除染効果は殆どないことが報告されている。

セシウムの化学的・物理的性質は、同じアルカリ金属のカリウムと類似している。本研究室ではこれまでに有機性廃棄物を食用きのこ培地の栄養材として活用する研究を行ってきた。特にきのこの特性として、無機成分の 60-70%がカリウムであること、培地中のカリウムをきのこ子実体が濃縮する特性があることを各種食用きのこで確認している。このため、選択的にカリウムを多く吸収・濃縮する特性を有するきのこを利用してセシウムを除去できると考えた。また、きのこは植物よりも 3 オーダー濃縮率が高いことが知られているが、きのこの諸特性を活用したセシウムの回収除去技術の開発に関する研究はなされていない。

本研究では、K 含量が極めて低いために子実体が殆ど形成されないビール粕培地(培地基材;針葉樹おが屑, 培地栄養材;ビール粕:無添加区)に KCl, CsCl をそれ

ぞれ、または同時に添加することで子実体形成を試み、子実体中の K, Cs 量を定量した。

2. 試験方法

表-1 にビール粕培地(試験区 1)及びビール粕培地に KCl, CsCl を瓶あたり 250~2,000mg 添加した培地の配合条件を示す。また表-2 に KCl と CsCl を同時に添加した培地の配合条件を示す。培地は 850mL のポリプロピレン製の培養瓶に 450g ずつ充填した。その後、121℃で 3 時間高圧滅菌処理を行い、室温まで冷却後、栽培期間が短く、害菌に強いヒラタケ菌(H67 号:(株)キノックス)を約 10g 接種した。培養は培養室(温度 22±1℃, 湿度 75±5%)で 27 日間行い、その後、菌掻き、注水操作を施し、2 時間静置後、発生室(温度:14±1℃, 湿度 90±5%)にビンを移し、子実体形成を促した。なお培養室内の蛍光灯の点灯は作業時のみ、発生室内の蛍光灯の点灯は 8 時間とした。収穫は子実体の傘の径が 20~30mm 程度で行い、子実体の生重量及び水分率を測定した。収穫した子実体、培養開始前培地及び廃培地は通風乾燥機を用いて 60℃で乾燥させ、ビーズミルで微粉碎した。粉碎後の試料は、それぞれ 1g ずつ磁性ろ過に付し、450℃で 15 時間乾式灰化後、濃硝酸 5mL を加えて乾熱板(ホットプレート)上で 30 分間加熱した。加熱処理後の試料は放冷した後、ろ紙 No. 5C を用いてろ過を行った。ろ液は 100mL に定容し、適宜希釈を行い、分析に供した。分析方法はカリウム(K), セシウム(Cs)ともに ICP/MS 法により測定した。その後、培地中の Cs がきのこ子実体に移行する程度の指標として用いられる移行係数(TF)を次式で求めた。

表-1 培地の配合条件 (単独添加区)

試験区 番号	試験区	培地基材	培地栄養材	その他		瓶詰め 量	水分 率**	pH***
		針葉樹お が屑	ビール粕	貝化石	K* Cs*			
		(乾物%)			(mg乾物/瓶)	(g/瓶)	(%)	(-)
1	無添加区				—	—	64.2	5.4
2					250	—	64.5	5.4
3	KCl添加区				500	—	63.9	5.4
4					1,000	—	64.0	5.3
5		46.0	50.0	4.0	2,000	450	64.3	5.3
6					—	250	63.8	5.6
7	CsCl添加区				—	500	64.0	5.4
8					—	1000	63.5	5.4
9					—	2000	64.4	5.4

* K,Csは、それぞれKCl, CsClを培地の水分調整時にイオン交換水に溶解させて添加。

滅菌後の培地水分率。*滅菌後のpH。

表-2 培地の配合条件 (複合添加区)

試験区 番号	試験区	培地基材	培地栄養材	その他		瓶詰め 量	水分 率**	pH**
		針葉樹 おが屑	ビール粕	貝化石	K* Cs*			
		(乾物%)			(mg乾物/瓶)	(g/瓶)	(%)	(-)
10	無添加区				—	—	63.3	5.3
11	KCl添加区				—	—	63.6	5.3
12					—	0.1	63.2	5.3
13	KCl+CsCl 添加区	46.0	50.0	4.0	500	1	63.5	5.3
14					—	10	63.3	5.3
15					—	100	63.2	5.3

* K,Csは、それぞれKCl, CsClを培地の水分調整時にイオン交換水に溶解させて添加。

滅菌後の培地水分率。*滅菌後のpH。

TF(CF)=(子実体 1kg (乾物) あたりの K, Cs 量)/(培地 1kg (乾物) あたりの K, Cs 量) (1)

3.実験結果及び考察

表-3に無添加区及び無添加区にKClを添加したKCl添加区の栽培試験結果を示す。菌掻きから収穫までの日数(発生処理後の日数)、総栽培日数は、試験区2~5(KCl添加区)では試験区1(無添加区)と比較して4~5日間短縮された。収量は、試験区1で34.4gであったが、培地中のK量が増加するにつれて多くなり、試験区3で90.7gと最大になった。それ以上の試験区では収量は減少傾向にあった。

表-3 KCl 添加区の栽培試験結果

試験区 番号	条件 試験区	発生処理 後の日数	総栽培日数	収量 (生)*	乾物 重量
				(g/瓶)	
1	無添加区	13.5±1.0	40.5±1.0	34.4	3.96
2		9.5±1.0	36.5±1.0	66.7	7.67
3	KCl添加区	8.0±0.0	35.0±0.0	90.7	9.98
4		8.0±0.0	35.0±0.0	84.3	9.27
5		8.0±0.0	35.0±0.0	62.6	7.20

*n=4の平均値

表-4に無添加区及びCsCl添加区の栽培試験結果を示す。CsCl添加区では発生処理後の日数、総栽培日数は無添加区と同様であり、表-3のKCl添加区と比較して5日程度長かった。収量は試験区7(Cs: 500mg/瓶)で、68.7gと最も多かったが、それ以上の添加量では減少傾向を示し、試験区9(Cs: 2,000mg/瓶)では培地に菌糸は蔓延したが子実体は形成されなかった。以上のことから、低カリウム培地にKの代替としてCsを添加した場合、KCl添加区よりも収量が減少し、発生処理後の日数が長くなる傾向が見られた。また、無添加区よりは収量が増加していることからK程度ではないが、Csも子実体の成長に利用されていると考えられた。

表-5に無添加区、KCl及びKCl+CsCl添加区の栽培試験結果を示す。無添加区は培地に菌糸が蔓延したが、子実体形成は認められなかった。これは表-1の試験で利用したビール粕のK濃度は820mg/kg(66.1mg/瓶)(乾

表-4 CsCl 添加区の栽培試験結果

試験区 番号	条件 試験区	菌周 日数	培養 日数	発生処理 後の日数	総栽培日数	収量 (生)*	乾物 重量
				(日)		(g/瓶)	
1	無添加区	17	27	13.5±1.0	40.5±1.0	34.4	3.96
6		17		13.5±1.0	40.5±1.0	60.4	6.64
7	CsCl添加区	17	27	13.5±0.6	40.5±0.6	68.7	7.56
8		18		13.5±0.6	40.5±0.6	55.8	6.25
9		19		13.0±0.0	40.0±0.0	—	—

*n=4の平均値

表-5 KCl 及び KCl+CsCl 添加区の栽培試験結果

試験区 番号	条件 試験区	培養日数	発生処理後 の日数	総栽培日数	収量 (生)* (g/瓶)	乾物 重量
10	無添加区	32	-	-	-	-
11	KCl添加区		7.3±0.6	32.3±0.6	93.1	10.24
12			8.0±0.8	33.0±0.8	90.3	10.11
13	KCl+CsCl 添加区	25	7.7±0.6	32.7±0.6	87.4	10.05
14			9.7±1.5	34.7±1.5	89.0	10.24
15			10.0±0.8	35.0±0.8	85.0	9.86

*n=3の平均値

物)であったのに対し、本試験で使用したものはその半分の 420mg/kg (37.2mg/瓶) (乾物)であったことが影響していると考えられる。関谷はビール粕 (593mg/kg (47.0mg/瓶) 乾物) を用いてヒラタケ子実体の発生に及ぼすカリウムの影響を調査し、カリウム量が極端に少ない培地では子実体は形成されないと報告している。本試験結果も同様であった。一方、KCl を添加した試験区 11 (K : 500mg/瓶) では表-3 の試験区 3 と同等の収量を得ることができた。K と Cs を添加した試験区 12~15 では、Cs 添加量が増加するにつれて発生処理後の日数 (収穫までの日数)、総栽培日数が長くなる傾向にあった。収量は Cs 添加量が少ない程多くなる傾向を示したが、本試験条件の範囲では顕著な差は見られなかった。

表-6 に各試験区における K 及び Cs の子実体への移行係数 (TF) 及び回収率を示す。まず、無添加区と CsCl 添加区を比較すると、無添加区の K の移行係数は 2.39 であったが、試験区 6~8 の K の移行係数は 1.95~2.14 と、無添加区のそれより 0.3~0.4 程度小さかった。また CsCl 添加区の Cs の移行係数は K より小さく、0.29~0.69 であった。特に試験区 8 (Cs : 1,000mg/瓶) では、Cs の移行係数は試験区 6, 7 と比較して極端に小さかった。つぎに全ての試験区で K の移行係数を比較すると、KCl (K:500mg/瓶) 添加区、KCl (K:500mg/瓶) と CsCl (Cs:0.1~100mg/瓶) を併用した試験区の K の移行係数は無添加区、CsCl 添加区と比較して小さく、0.88~0.95 の範囲にあった。また Cs の移行係数は試験区 8 よりさらに小さく、0.16~0.22 の範囲にあった。さらに KCl+CsCl 添加区では K, Cs の移行係数は Cs が 0.1~100mg/瓶の範囲で変化してもほぼ一定の値を示した。このことから、培地中に K が多く存在

表-6 各試験区の移行係数と回収率

試験区 番号	条件 試験区	移行係数(-)		回収率(%)	
		K	Cs	K	Cs
1	無添加区	2.39	-	55.7	-
6		1.95	0.54	76.1	21.2
7	CsCl添加区	2.14	0.69	105.3	30.9
8		2.13	0.29	100.2	10.2
9		-	-	-	-
11	KCl添加区	0.93	-	52.5	-
12		0.95	0.16	51.6	8.6
13	KCl+CsCl 添加区	0.88	0.21	47.1	10.9
14		0.90	0.22	46.7	11.6
15		0.90	0.21	46.1	10.9

*n=3の平均値

する場合、試験区 6~8 と比較して Cs は子実体へ移行しにくいことがわかった。これらの現象は K と Cs が拮抗的な関係にあることが影響しているためと考えられる。また、K 回収率は試験区 7 でほぼ 100% であった。一方、Cs 回収率は試験区 7 で 30.9% と最大なり、それ以上では減少した。KCl と CsCl を併用した試験区 12~15 の回収率は試験区 6, 7 と比較して低かった。以上のことから、培地中のカリウム濃度が高い培地よりも、ビール粕培地 (無添加区) に CsCl のみを添加した方が培地中の Cs は子実体に移行し易く、回収率も高くなることがわかった。特にビール粕培地に Cs を瓶あたり 500mg 以内で添加するとカリウムトランスポーター、カリウムチャネルが活発に作用し、K, Cs が子実体に効果的に吸収されると思われた。また、試験区 9 において子実体が形成されなかった理由として、カリウムチャネルを K が通過する場合、高い透過性のため瞬時に細胞内に吸収される。しかし Cs の場合、イオン半径が K と比較して大きいため、通過に時間を要する。このように Cs 量が K 量と比較して極端に多い場合、Cs がカリウムチャネルを支配する時間が長くなり、K 供給が阻害され、子実体形成が抑制されたと考えられる。

4. おわりに

本研究で得られた知見を示す。

- 1) 低カリウム培地 (無添加区) に CsCl を添加した培地では、Cs 量 250mg~1,000mg/瓶の間では無添加区より収量が増加することから、Cs は子実体形成に効果的であった。
- 2) 低カリウム培地では高カリウム培地と比較して培地中の Cs は子実体に移行し易く、回収量も多くなることがわかった。また低カリウム培地において、Cs を 500mg 以内で添加するとカリウムトランスポーター、カリウムチャネルが活発に作用し、K, Cs が子実体に効果的に吸収されると思われた。

参考文献

- 1) 迫田章義, 石井和之, 工藤一秋, 立間 徹: 担体固定化吸着剤を用いた環境中からの小規模分散型セシウム回収プロセスの開発 ~プルシアンブルー添着布を用いた土壌中の放射性セシウムの回収~, 第 48 回水環境学会年会, 2014.
- 2) 迫田章義, 石井和之, 工藤一秋, 立間徹, 赤川賢吾, 小尾匡司, 藤田洋崇, 藤井隆夫, 黒岩善徳, 高 橋勇介, 島長義, 佐藤理夫: プルシアンブルー添着布を用いた土壌中の放射性セシウム回収プロセス, 第 27 回日本吸着学会研究発表会, 2013.

謝辞

本研究は平成 26 年度科学研究費補助金 (課題番号 26630249) で実施した。