

第8章 イチゴでの放射性セシウム吸収低減化対策

大橋 隆・植木正明¹⁾・重野 貴²⁾・豊田明奈³⁾

摘要：非汚染土壌に放射性セシウムを 500 Bqkg⁻¹ 程度含む堆肥を 2kgm⁻² 施用したほ場から収穫したイチゴ果実から放射性セシウムは検出されなかった。放射性セシウムを 200 Bqkg⁻¹ ほど含む汚染クリプトモス培地を用いた養液栽培でのイチゴ果実への放射性セシウムの移行係数は最大で 0.06 であり、汚染クリプトモス培地にパーミキュライトを混合することにより、放射性セシウムの果実への移行を抑制できた。また、汚染クリプトモスに体積比で5倍量の地下水をかけ流すことにより、培地中の放射性セシウムを30%程度低減できた。放射性セシウムを 2500 Bqkg⁻¹ 程度含む土壌を用い、交換性カリの蓄積量を高 (351 mgkg⁻¹)、中 (209 mgkg⁻¹)、低 (147 mgkg⁻¹) の3水準で比較したところ、放射性セシウムのイチゴ果実への移行係数は、高 0.001、中 0.002、低 0.004 であり、土壌に交換性カリを施用することにより、放射性セシウムの吸収を抑制できた。

キーワード：移行係数、有機質培地、高汚染土壌、養液栽培

I 緒言

福島第一原子力発電所での原子力事故により飛散した放射性物質は、栃木県内にも多量に降下し住生活環境に大きな影響を及ぼしたばかりか、複数の農林水産物から放射性セシウムが検出され、本県農業に対しても甚大な影響を与えた。国(原子力災害本部)では暫定規制値並びに新たな規制値に基づく農林水産物の出荷制限などの対策を講じたが、食品の放射性セシウム汚染と健康被害に対する消費者の不安を払拭するには至らなかった。

本県は全国でも有数のイチゴ生産県であるが、イチゴは幼児から高齢者に至る幅広い年齢層で食され、ヘルシーな食品としてのイメージも定着していることから、原子力事故発生以降、流通業者や実需者からは、放射性セシウムが未検出であるイチゴの出荷を強く求められている。

原子力事故発生当時はイチゴの収穫期間中であり、イチゴ生産ほ場は、温室に展張した被覆フィルムによりほ場の土壌汚染は免れたものの、調査が進むにつれ、イチゴ生産ほ場の土づくり資材として不可欠な堆肥や本県が開発した栃木農試方式イチゴ閉鎖型養液栽培システム(植木, 2000)等で広く利用されているクリプトモス培地(植木, 1998)などの資材についても放射性セシウムに汚染されていることが明らかとなった。

そこで、本研究では放射性セシウムに汚染された堆肥並びにクリプトモス培地、更には高濃度汚染土壌を用いたイチゴ生産において、これらがおけるイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響を検討し、その抑制対策を明らかとしたので報告する。

II 材料及び方法

1. 汚染堆肥がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響(試験1)

いちご研究所内にある農 PO フィルムを被覆したパイプハウス(非汚染土壌)にて試験を実施した。試験区は放射性セシウム(¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計)濃度が504 Bqkg⁻¹の堆肥を2 kgm⁻² 全面全層施用した汚染堆肥区と放射性セシウムが未検出の堆肥を同様に施用した非汚染堆肥区の2区を設けた。

供試品種はとちおとめとし、2012年7月13日に24穴セルトレイへ採苗、仮植した。育苗期の施肥は窒素成分で株当たり40 mgとし、9月24日に畝幅1 m、株間0.24 mの2条高畝に定植した。本ほの施肥量は、m²当たり窒素成分で窒素20 g、リン酸25 g、カリ15 gとし、全量基肥で施用した。各試験区から2013年1月11日並びに、2月8日、3月1日から3月26日までの期間に収穫した果実の放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器を用いて、1 L 容器で1000秒間測定した。

2. 汚染クリプトモス培地がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響(試験2)

1) クリプトモス培地に混合する資材がイチゴ果実に及ぼす影響(実験1)

いちご研究所内にある硬質フィルムを被覆した鉄骨温室にて試験を実施した。試験区は、放射性セシウム(¹³⁴Csと¹³⁷Csとの合計)濃度が207 Bqkg⁻¹の汚染クリプトモス(商品名:クリプトファーム)100 Lに対しパーミキュライト20 Lを混合した培地を用いるパーミキュライト区、本県で一般的に利用されているイチゴ栽培用クリプトモス混合培地(クリプトモ

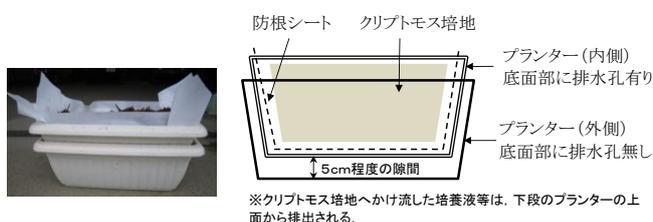
ス 100 L に対してパーライト 30 L を混合、商品名:モスベリーミックス) で放射性セシウム濃度が 185.2 Bqkg⁻¹ である培地を用いるパーライト区の 2 区を設けた。

供試品種はとちおとめとし、2012 年 7 月 13 日に 24 穴セルトレイへ採苗、仮植した。育苗期の施肥量は株当たり窒素成分で 40 mg とした。本ぼでの栽培には、栃木農試方式イチゴ閉鎖型養液栽培システムを用い、9 月 7 日に株間 0.22 m の 2 条千鳥植えて定植した。培養液の組成は栃木いちご処方(直井ら, 2008) とし、給液濃度は、開花期までは EC 100 mSm⁻¹、開花期以降は EC 120 mSm⁻¹ で管理した。10 月 29 日から保温を開始し、午前 30℃、午後 26℃、最低夜温 8℃ で管理した。また、温湯管を用いた培地加温により、培地内の最低温度が 15℃ 以上となるように管理した。11 月 13 日から収穫を開始し、4 月 20 日まで毎週 2 回の収穫を行い、各試験区 30 株のうち 10 株について収量調査を行った。この間、収穫した果実は冷凍保存し、概ね 1 か月毎に果実中並びに栽培槽貯留液中の放射性セシウム濃度を調査した。また、培地中の放射性セシウム濃度は、定植直後並びに栽培終了時に、果実を除く植物体(地上部)中の放射性セシウム濃度は栽培終了時にそれぞれ調査した。なお、放射性セシウム濃度はゲルマニウム半導体検出器を用いて果実並びにクリプトモス培地は 1L 容器で 1000 秒間、貯留液並びに植物体は 2L 容器で 2000 秒間測定した。

2) 前処理がクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (実験 2)

2012 年 8 月にいちご研究所内にある作業舎にて実験を行った。処理区は培養液(栃木いちご処方) EC 100 mSm⁻¹、同 EC 50 mSm⁻¹、硝酸アンモニウム 0.05 N 溶液、同 0.01 N 溶液、地下水をクリプトモス培地(商品名:クリプトファーム)にそれぞれかけ流す 5 区とし、かけ流し処理を行わない対照区を含め、計 6 区を設けた。また、これらをクリプトモスにかけ流す水量についてクリプトモス培地の 2 倍量並びに 3 倍量の 2 水準とし、これらを組み合わせて 12 処理区を設けた。

容量約 11 L のプランターに容積 9 L のクリプトモス培地を充填し、ジョーロを用いて培養液等を 2 倍量かけ流し処理では 18 L、3 倍量かけ流し処理では 27 L をそれぞれかけ流した(第 1 図)。



第 1 図 かけ流し処理に用いた容器(左)とその構造(右)

なお、かけ流しを行う処理区では、所定量の培養液等のかけ流しを終えた直後に更に地下水 18 L をかけ流した。処理終了後はクリプトモス培地を天日にて自然乾燥した後、クリプトモス培地中の放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器を用い 1 L 容器、計測時間 1000 秒で測定した。

3) クリプトモス培地への前処理がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (実験 3)

いちご研究所内にある硬質フィルムを被覆した鉄骨温室にて試験を実施した。試験区は、放射性セシウム (¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs との合計) 濃度が 189.5 Bqkg⁻¹ の汚染クリプトモス(商品名:クリプトファーム)に対して体積比で 5 倍量の地下水を掛け流した後に栽培に用いる前処理区、同汚染クリプトモス 100 L に対してパーミキュライト 20L を混合した培地を用いるパーミキュライト区、同汚染クリプトモスをそのまま用いる無処理区の 3 区を設けた。

供試品種はとちおとめとし、2013 年 7 月 2 日に 24 穴セルトレイへ採苗、仮植し、8 月 5 日から 9 月 5 日まで夜冷短日処理を行った。育苗期の施肥は錠剤型肥料を用い、窒素成分で株当たり 80 mg を施用した。本ぼでの栽培には栃木農試方式イチゴ閉鎖型養液栽培システムを用い、前処理区では、9 月 3 日に栽培槽へ汚染クリプトモスを充填し、その上面に湿潤シート、更にその上面にノズルピッチ 0.2 m、吐出量 24 mlmin⁻¹ のドリップチューブを配し、栽培槽に充填したクリプトモスの 5 倍の体積に相当する地下水をハンディポンプを用いてかけ流した。この際、栽培槽末端に設置された余剰液排出用の水位レベル棒の高さを最高位にし、かけ流し処理中はクリプトモスが湛液した状態を維持するようにした。2013 年 9 月 7 日に株間 0.22 m の 2 条千鳥植えて定植した。培養液の組成は栃木いちご処方とし、給液濃度は、開花期までは EC 80 mSm⁻¹、開花期以降は EC 120 mSm⁻¹ に管理した。11 月 2 日から保温を開始し、昼温 27℃、最低夜温 8℃ に管理した。また、温湯管を用いた培地加温により、培地内の最低温度が 15℃ 以上となるように管理した。

11 月 7 日から収穫を開始し、4 月 25 日まで毎週 2 回の収穫を行い、各試験区 30 株のうち 10 株について収量調査を行った。この間、収穫した果実は冷凍保存し、概ね 1 ヶ月毎に果実中並びに栽培槽貯留液中の放射性セシウム濃度を調査した。また、培地中の放射性セシウム濃度は、定植前並びに栽培終了時に、植物体(地上部)中の放射性セシウム濃度は栽培終了時にそれぞれ調査した。なお、放射性セシウム濃度はゲルマニウム半導体検出器を用い、果実並びにクリプトモス培地は 2 L 容器で 1000 秒間、貯留液並びに植物体は 2 L 容器 2000 秒間測定した。

3. 高汚染土壌がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及

ぼす影響 (試験 3)

いちご研究所内にある硬質フィルムで被覆した鉄骨温室にて試験を実施した。試験区は、那須塩原市内の水田から採取した放射性セシウム濃度 (^{134}Cs 並びに ^{137}Cs の合計) が 2536.9 Bqkg^{-1} の高汚染土壌 (第1表) に塩化カリを加え、土壌中の交換性カリの蓄積量を 35.1 mg100g^{-1} としたカリ蓄積量高区, 20.9 mg100g^{-1} としたカリ蓄積量中区, 14.7 mg100g^{-1} としたカリ蓄積量低区の3区を設けた。

供試品種はとちおとめとし、2013年7月16日に24穴セルトレイへ採苗、仮植した。育苗期の施肥は錠剤型肥料を用い、窒素成分で株当たり60mgを施用した。9月24日に容量11Lのプランターに定植した。施肥は全量基肥とし、微量元素入り被覆複合燐硝安加里 (N:P₂O₅:K₂O=13:9:11) を用い、株当たり窒素成分で1gを施用した。収穫は12月24日から翌年4月25日まで毎週2回行った。この間、収穫した果実は冷凍保存し、果実中の放射性セシウム濃度を調査した。また、栽培終了時に土壌中に放射性セシウム濃度を調査した。なお、放射性セシウム濃度はゲルマニウム半導体検出器を用い、土壌は1L容器で1000秒間、果実は2L容器で50000秒間測定した。

第1表 実験に供試した土壌の化学性

放射性セシウム濃度 Bqkg^{-1}			土壌の理化学性 mg100g^{-1}		
^{134}Cs	^{137}Cs	計	CaO	MgO	K ₂ O
821.7	1715.2	2536.9	81	5.6	14

III 結果

1. 汚染堆肥がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (試験 1)

果実中の放射性セシウム濃度の推移を第2表に示した。いずれの調査日においても各区の果実から放射性セシウムは検出されなかった。

第2表 汚染堆肥の施用が果実中の放射性セシウム濃度の推移に及ぼす影響

処理区	1月11日			2月8日		
	^{134}Cs	^{137}Cs	計	^{134}Cs	^{137}Cs	計
汚染堆肥	N.D (1.54)	N.D (2.07)	N.D	N.D (2.84)	N.D (2.58)	N.D
非汚染堆肥	N.D (1.30)	N.D (1.52)	N.D	N.D (2.48)	N.D (2.48)	N.D

処理区	1月11日		
	^{134}Cs	^{137}Cs	計
汚染堆肥	N.D (2.73)	N.D (2.50)	N.D
非汚染堆肥	N.D (2.12)	N.D (2.52)	N.D

注: 表中の日付は貯留液の採取日, () 内の数値は検出下限値をそれぞれ示す。

2. 汚染クリプトモス培地がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (試験 2)

1) クリプトモスに混合する資材がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (実験 1)

シウム濃度に及ぼす影響 (実験 1)

果実中及び栽培槽中の培養液貯留液の放射性セシウム濃度の推移を第3表及び第4表にそれぞれ示した。果実中の放射性セシウム濃度の推移は、パーミキュライト区では収穫期間を通じて検出されず、パーライト区では、収穫期間を通じて検出された。パーライト区での果実中に含まれる放射性セシウムの最大値は 7.36 Bqkg^{-1} であり、この値を定植直後の培地中の放射性セシウム濃度で除した果実への最大移行係数は 0.05 であった。栽培槽中の培養液貯留液中の放射性セシウム濃度の推移は、パーミキュライト区では検出されず、パーライト区では9月16日のみ検出された。

栽培終了時における果実を除く植物体中および培地中の放射性セシウム濃度を第5表、第6表にそれぞれ示した。植物体中の放射性セシウム濃度は、パーライト区では 3.7 Bqkg^{-1} であったのに対し、パーミキュライト区では検出されなかった。また、培地中の放射性セシウム濃度はパーミキュライト区で高かった。栽培終了時における培地中の放射性セシウム濃度を定植直後の培地中の放射性セシウム濃度で除した放射性セシウムの残存率は、パーミキュライト区で 10% ほど高かった。可販果収量を第7表に示した。株当たりの可販果収量に処理間での大きな差は認められなかった。

2) 前処理がクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (実験 2)

処理後のクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度及び放射性セシウムの残存率を第8表に示した。各処理区での処理後の放射性セシウム濃度を対照区の放射性セシウム濃度で除して求めた放射性セシウムの残存率は、かけ流し量2倍量では、地下水で約91%と最も高く、硝酸アンモニウム0.05N溶液で約58%と最も低かった。かけ流し量3倍量では地

第3表 クリプトモス培地に混合する資材が果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	11月13日~30日			12月25日~1月11日		
	^{134}Cs	^{137}Cs	計	^{134}Cs	^{137}Cs	計
パーミキュライト	N.D (1.62)	N.D (1.72)	N.D	N.D (0.15)	N.D (0.14)	N.D
パーライト	2.83 (1.23)	4.53 (1.67)	7.36	N.D (0.54)	5.26 (0.85)	5.26

処理区	1月28日~2月8日			3月1日~26日		
	^{134}Cs	^{137}Cs	計	^{134}Cs	^{137}Cs	計
パーミキュライト	N.D (2.42)	N.D (2.05)	N.D	N.D (1.64)	N.D (2.41)	N.D
パーライト	2.51 (1.77)	4.08 (2.33)	6.59	N.D (2.07)	5.52 (2.51)	5.22

処理区	4月2日~20日			培地から果実への最大移行係数
	^{134}Cs	^{137}Cs	計	
パーミキュライト	N.D (1.89)	N.D (2.49)	N.D	-
パーライト	N.D (2.55)	3.51 (2.49)	3.51	0.05

注: 表中の日付は採果期間を, () 内の数値は検出下限値を示す。培地から果実への最大移行係数は、果実中の放射性セシウム濃度の最大値を定植直後に測定した各処理区での培地中の放射性セシウム濃度で除した値。

第 4 表 クリプトモス培地に混合する資材が栽培槽の貯留液中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	9月16日			12月4日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
パーミキュライト	N.D(0.90)	N.D(0.87)	N.D	N.D(0.60)	N.D(0.93)	N.D
パーライト	1.9(0.66)	1.8(0.85)	3.70	N.D(0.89)	N.D(0.85)	N.D

処理区	1月18日			2月25日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
パーミキュライト	N.D(0.73)	N.D(0.82)	N.D	N.D(0.67)	N.D(0.56)	N.D
パーライト	N.D(0.88)	N.D(0.88)	N.D	N.D(0.82)	N.D(0.85)	N.D

処理区	3月27日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
パーミキュライト	N.D(0.87)	N.D(0.84)	N.D
パーライト	N.D(0.66)	N.D(0.69)	N.D

注. 表中の日付は貯留液の採取日を、() 内の数値は検出下限値をそれぞれ示す。

第 8 表 培養液等のかけ流し処理がクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

かけ流し量	処 理	培養液等の種類	放射性セシウム濃度		Bqkg ⁻¹
			¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
2倍量	処理	栃木いちご処方 EC1.0dS/m	51.8 (4.04)	84.4 (5.37)	136.2
		栃木いちご処方 EC0.5dS/m	60.6 (4.29)	89.0 (5.58)	149.6
		硝酸アンモニウム 0.05N	41.7 (3.20)	64.1 (4.24)	105.8
		硝酸アンモニウム 0.01N	47.6 (3.85)	89.1 (5.28)	136.6
		地下水	60.8 (4.24)	104.0 (5.79)	164.8
	対照(掛け流し処理なし)		76.2 (4.83)	104.9 (6.10)	181.0
3倍量	処理	栃木いちご処方 EC1.0dS/m	46.6 (3.55)	77.0 (4.77)	123.6
		栃木いちご処方 EC0.5dS/m	40.5 (3.82)	77.4 (5.66)	117.9
		硝酸アンモニウム 0.05N	42.8 (3.45)	73.4 (4.67)	116.1
		硝酸アンモニウム 0.01N	51.3 (3.94)	80.8 (5.22)	132.1
		地下水	60.4 (3.99)	94.5 (5.13)	154.9
	対照(掛け流し処理なし)		84.7 (4.92)	135.9 (6.46)	220.6

かけ流し量	処 理	培養液等の種類	放射性セシウム残存率(%)	
			(無処理区との対比)	
2倍量	処理	栃木いちご処方 EC1.0dS/m	75.2	
		栃木いちご処方 EC0.5dS/m	82.6	
		硝酸アンモニウム 0.05N	58.4	
		硝酸アンモニウム 0.01N	75.5	
		地下水	91.0	
	対照(掛け流し処理なし)	100.0		
3倍量	処理	栃木いちご処方 EC1.0dS/m	56.1	
		栃木いちご処方 EC0.5dS/m	53.5	
		硝酸アンモニウム 0.05N	52.7	
		硝酸アンモニウム 0.01N	59.9	
		地下水	70.2	
	対照(掛け流し処理なし)	100.0		

注. 表中の() 内の値は検出下限値を示す。なお、表中の各数値は、サンプルの水分率が50%時における換算値として示した。

第 5 表 クリプトモス培地に混合する資材が栽培終了時の植物体中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
パーミキュライト	N.D (0.90)	N.D (0.87)	N.D
パーライト	1.9 (0.66)	1.8 (0.85)	3.7

注. 調査は2013年5月6日に行った。() 内の数値は検出下限値を示す。

第 6 表 クリプトモス培地に混合する資材がクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	定植直後(9月13日)			栽培終了時(5月10)		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
パーミキュライト	44.4 (2.80)	73.5 (2.67)	117.9	17.1 (2.36)	29.2 (2.52)	46.3
パーライト	51.7 (3.45)	91.7 (3.10)	143.4	14.0 (1.80)	27.8 (2.14)	41.8

処理区	放射性Csの残存率(%)		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
パーミキュライト	38.5	39.7	39.3
パーライト	27.1	30.3	29.1

注. 日付はクリプトモス培地の採取日を、表中() 内の数値は検出下限値をそれぞれ示す。

第 7 表 クリプトモス培地に混合する資材が収量に及ぼす影響

処理区	株当たりの可販果収量 g						
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	計
パーミキュライト	93	171	225	185	205	89	968
パーライト	91	161	200	191	267	116	1026

地下水で70.2%と最も高く、他区はいずれも50%台で同等で、培養液、硝酸アンモニウムともかけ流し量2倍量に比べ濃度による放射性セシウム残存率の差は小さくなった。

3) クリプトモス培地への前処理がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (実験 3)

定植時のクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度を第 9 表に示した。汚染クリプトモス培地中の放射性セシウム濃度は、無処理区の 189.5 Bqkg⁻¹ に対して、前処理区では 130.8 Bqkg⁻¹ であった。

果実中の放射性セシウム濃度の推移を第 10 表に示した。パーミキュライト区では収穫期間を通じて検出されず、前処理区では、収穫開始から 2 月 14 日までに収穫した果実から検出され、無処理区では、収穫期間を通じて検出された。また、果実中の放射性セシウム濃度は、無処理区に比べ前処理区で常に低く推移した。前処理区、無処理区とも 11 月 7 日から 11 月 26 日に採果した果実中の放射性セシウム濃度もっとも高く、前処理区では 4.16 Bqkg⁻¹、無処理区では 12.01 Bqkg⁻¹ であり、これらの値を定植時におけるクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度で除した汚染クリプトモス培地から果実への放射性セシウムの最大移行係数は前処理区で 0.032、無処理区で 0.063 であった。

栽培槽中の培養液貯留液中の放射性セシウム濃度の推移を第 11 表に示した。12 月 3 日時点では前処理区並びに無処理区で検出されたが、それ以降ではいずれの区とも検出されなかった。

第9表 培養液のかけ流し処理がクリプトモス培地の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
前処理	39.6 (7.6)	91.2 (5.5)	130.8
無処理	63.0 (5.5)	126.5 (4.9)	189.5

注. 表中の()内の値は検出下限値を示す. なお表中の各数値は、サンプルの水分率が50%時における換算値として示した.

第10表 クリプトモス培地への前処理及びバーミキュライトの混合が果実中の放射性セシウム濃度の推移に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹					
	11月7日～26日			12月5日～13日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
前処理	N.D (3.24)	4.16 (1.61)	4.16	N.D (2.53)	2.95 (1.77)	2.95
バーミキュライト	N.D (1.64)	N.D (1.66)	N.D	N.D (3.62)	N.D (2.20)	N.D
無処理	3.29 (1.64)	8.72 (2.05)	12.01	3.37 (1.79)	5.88 (1.80)	9.25

処理区	1月10日～21日			2月4日～14日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
	前処理	N.D (1.64)	2.72 (1.80)	2.72	N.D (1.80)	3.38 (1.65)
バーミキュライト	N.D (2.86)	N.D (2.24)	N.D	N.D (1.69)	N.D (1.73)	N.D
無処理	N.D (1.76)	5.82 (1.76)	5.82	N.D (1.54)	2.48 (1.54)	2.48

処理区	3月7日～3月11日			培地から果実への最大移行係数
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	
	前処理	N.D (2.49)	N.D (2.37)	
バーミキュライト	N.D (1.56)	N.D (1.73)	N.D	-
無処理	N.D (1.85)	6.06 (1.31)	6.06	0.063

注. 表中の日付は採果期間を、()内の数値は検出下限値を示す. 培地から果実への最大移行係数は、果実中の放射性セシウム濃度の最大値を定植直後に測定した各処理区での培地中の放射性セシウム濃度で除した値.

第11表 クリプトモス培地への前処理及びバーミキュライトの混合が栽培槽貯留液中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹					
	12月3日			2月3日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
前処理	N.D (0.85)	0.89 (0.54)	0.89	N.D (0.75)	N.D (0.83)	N.D
バーミキュライト	N.D (0.88)	N.D (0.89)	N.D	N.D (2.03)	N.D (1.17)	N.D
無処理	N.D (0.73)	1.44 (0.79)	1.44	N.D (0.95)	N.D (0.97)	N.D

処理区	3月3日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
	前処理	N.D (0.78)	N.D (0.82)
バーミキュライト	N.D (0.80)	N.D (0.82)	N.D
無処理	N.D (0.76)	N.D (0.88)	N.D

注. 表中の日付は貯留液の採取日を、()内の数値は検出下限値をそれぞれ示す.

第12表 クリプトモス培地への前処理及びバーミキュライトの混合が栽培終了時の植物体及びクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹					
	植物体			クリプトモス培地		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
前処理	1.80 (0.54)	5.77 (1.73)	7.57	23.3 (3.48)	53.8 (3.15)	77.1
バーミキュライト	N.D (1.74)	N.D (2.16)	N.D	31.6 (2.29)	79.7 (2.61)	111.3
無処理	3.75 (2.50)	11.0 (2.46)	14.75	18.9 (2.06)	38.9 (1.95)	57.7

注. 植物体は生鮮時、クリプトモス培地は水分率50%時の放射性セシウム濃度として示した. ()内の数値は検出下限値.

また、栽培終了時における果実を除いた地上部中の放射性セシウム濃度を第12表に示した. バーミキュライト区では検出されず、前処理区で7.57 Bqkg⁻¹、無処理区で14.75 Bqkg⁻¹であった. この際の培地中の放射性セシウム濃度は前処理

区で77.1 Bqkg⁻¹、バーミキュライト区で111.3 Bq kg⁻¹、無処理区で57.7Bq kg⁻¹とバーミキュライト区が最も高かった.

3. 高汚染土壌がイチゴ果実中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 (試験3)

果実中の放射性セシウム濃度の推移を第13表に、栽培終了時の土壌中の放射性セシウム濃度を第14表にそれぞれ示した. 放射性セシウムは収穫期間を通じて全ての区で検出され、その濃度はいずれの収穫期間においてもカリ蓄積量低区、中区、高区の順に高かった. 収穫時期間ではいずれの区も3月28日から4月25日で最も高く、処理間ではカリ蓄積量低区で9.60Bqkg⁻¹、カリ蓄積量中区で4.57Bqkg⁻¹、カリ蓄積量高区で2.96Bq kg⁻¹であり、これらを土壌中の放射性セシウム濃度で除した土壌中セシウムの果実への最大移行係数は、カリ蓄積量低区で0.004、カリ蓄積量中区で0.002、カリ蓄積量高区で0.001であった. 加えて、栽培終了時における土壌中の放射性セシウム濃度は、カリ蓄積量低区で1804Bqkg⁻¹、カリ蓄積量中区で1837Bqkg⁻¹、カリ蓄積量高区で1843Bqkg⁻¹であった.

第13表 土壌中の交換性カリの蓄積量が果実中のセシウム濃度に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹					
	12月24日～1月21日			1月24日～3月4日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
カリ蓄積量低	1.03 (0.13)	2.30 (0.16)	3.33	1.73 (0.17)	4.36 (0.16)	6.09
カリ蓄積量中	0.91 (0.21)	2.21 (0.24)	3.12	0.91 (0.19)	2.07 (0.20)	2.98
カリ蓄積量高	0.52 (0.21)	1.43 (0.22)	1.95	0.59 (0.17)	2.00 (0.16)	2.59

処理区	3月7日～3月25日			3月28日～4月25日		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
	カリ蓄積量低	1.91 (0.18)	4.92 (0.21)	6.83	2.51 (0.20)	7.09 (0.19)
カリ蓄積量中	1.01 (0.18)	2.50 (0.18)	3.51	1.31 (0.19)	3.26 (0.18)	4.57
カリ蓄積量高	0.51 (0.18)	1.73 (0.18)	2.24	0.80 (0.18)	2.16 (0.19)	2.96

処理区	培地から果実への最大移行係数	
	カリ蓄積量低	0.004
カリ蓄積量中	0.002	
カリ蓄積量高	0.001	

注. 表中の日付は採果期間を、()内の数値は検出下限値を示す. 培地から果実への最大移行係数は、果実中の放射性セシウム濃度の最大値を定植直後に測定した各処理区での培地中の放射性セシウム濃度で除した値.

第14表 土壌中の交換性カリの蓄積量が栽培終了時の土壌中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

処理区	Bqkg ⁻¹		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	計
カリ蓄積量低	494	1310	1804
カリ蓄積量中	507	1330	1837
カリ蓄積量高	523	1320	1843

IV 考察

農林水産省では、肥料・土壌改良資材・培土中に含まれる放射性セシウムの暫定許容値は最大で400 Bqkg⁻¹ (製品重

量)と定めており、これを満たすものであれば、肥料等を長期間施用しても、原発事故前の農地土壌の放射性セシウム濃度の範囲に収まる水準としている。試験 1 では、農林水産省が定める放射性セシウムの許容値を超える汚染堆肥を用いて試験を行ったが、イチゴ果実中からは放射性セシウムが検出されなかったことから、暫定許容値内の放射性セシウムを含む汚染堆肥をイチゴ栽培ほ場で使用する場合、農作物施肥基準(栃木県, 2006)に定める施用量(200 kg^a)の範囲内であれば、当該ほ場から収穫されたイチゴ果実から放射性セシウムが検出されることはないものと考えられた。

試験 2 の実験 1 では放射性セシウムの固定化に優れる(日本土壤肥料学会, 2013)とされるパーキュライトをクリプトモス培地に混合することにより、イチゴ果実への放射性セシウムの移行を抑制することを、実験 2 では、一定量以上の培養液等をクリプトモス培地にかけ流すことで培地中の放射性セシウム濃度を低下させることをそれぞれ試み、実験 3 ではその再現性について検証した。実験 1 における栽培終了時の放射性セシウム濃度はパーミュライト区で最も高かったにもかかわらず、パーミュライト区のみで収穫期間を通じてイチゴ果実から放射性セシウムが検出されなかったこと、実験 2 におけるクリプトモス培地へのかけ流し処理による培地中の放射性セシウム濃度の低減効果は地下水よりも培養液や硝酸アンモニウム水溶液で優れるが、このことは、クリプトモス培地に含まれる放射性セシウムの多くは水溶性または置換態として存在していることを示唆するものと考えられ、土壌においては NH⁴⁺の添加により固定態の放射性セシウムが減少し、置換態の放射性セシウムが増加する(津村ら, 1984)ことを踏まえると、イチゴの養液栽培においても NH⁴⁺を含む培養液を日々施用することが、置換態の放射性セシウムの増加を促進、または、クリプトモス培地への放射性セシウムの固定を阻害しているものと推察された。農林水産省が 2011 年 5 月に公表した放射性セシウム汚染土壌からのイチゴ果実への放射性セシウムの移行係数は幾何的平均値が 0.0015 でその範囲は 0.00050 から 0.0034 とされている。本試験での放射セシウムの最大移行係数は、放射性セシウム濃度が約 2500Bqkg⁻¹の高汚染土壌の影響を検討した試験 3 では、カリ蓄積量低区でのみ 0.004 と幾何的平均値を上回ったが、放射性セシウム濃度が約 200Bqkg⁻¹のクリプトモス培地を用いた試験 2 では、クリプトモス培地へ混合する資材の影響を検討した実験 1 のパーライト区で 0.05、クリプトモス培地へのかけ流し処理の影響を検討した実験 3 の無処理区で 0.06 と幾何的平均値よりも高く、これらの結果も土壌に比べ樹皮等の培地では放射セシウムの吸着固定が劣ることを示すものであると考えられた。また、試験 3 では生産現場での実用性を考慮し、イチゴ苗の定植前に体積比で培地の 5

倍量の地下水を用いたかけ流し処理を行ったが、前処理後のクリプトモス培地中の放射性セシウム濃度は、無処理区に比べ前処理区で 30%ほど低下し、調査期間中の果実中の放射性セシウム濃度も常に無処理区に比べ低く推移したことから、本処理法が実用的にも効果を有することが明らかとなった。パーミュライト区においても試験 1 と同様に収穫期間を通じてイチゴ果実から放射性セシウムは検出されず、効果の再現性が確認された。

試験 3 では、汚染土壌へのカリの施用がイチゴ果実への放射性セシウムの移行に及ぼす影響とその効果に関する検討を試みた。果実中の放射性セシウム濃度並びに最大移行係数とも、調査期間を通じてカリ蓄積量低区、中区、高区の順に高く推移したことから、イチゴ生産においても汚染土壌へのカリ施用が放射性セシウムの移行抑制に効果的であることが明らかとなった。果実中の放射性セシウム濃度の時別の推移をみると、全ての試験区において収穫時期が低温期から高温期へと進むに従い、果実中の放射性セシウム濃度が上昇する傾向が認められた。本試験では培地温を成り行きで管理しており、培地温が低温期から高温期へ進むに従い上昇していったことは容易に想像できる。一般的に培地温と根部の生育は密接に関係するとされており、本試験結果は、根の生育が活発な条件下ほど土壌中の放射性セシウムがイチゴに吸収されやすくなることを示唆するものであると考えられた。

本研究で行った全ての試験においてイチゴ果実中からは厚生労働省が定める食品中の放射性セシウムの基準値を超えることはなかった。試験 3 では県内の農地の中でも最も高いレベルで放射性セシウムを含む土壌(栃木県, 2012)を用いたが、調査期間中にイチゴ果実から検出された放射性セシウム濃度は最大で 9.60 Bqkg⁻¹、最大移行係数は 0.004 であったことから、県内のいずれの農地で生産されたイチゴ果実とも福島第一原子力発電所での原子力事故による土壌の放射性セシウム汚染を起因とする食品中放射性セシウム基準値の超過は起こりえないものと考えられ、200Bqkg⁻¹程度の放射性セシウムを含むクリプトモス培地を用いて生産されたイチゴ果実についても同様であると考えられた。しかしながら、放射性セシウムを含む食品に対する消費者心理は不安に満ちており、流通業者や実需者は本県産イチゴに対して放射性セシウムが未検出であることを強く求めている現状を踏まえると、一定程度放射性セシウムを含むクリプトモス培地では、地下水の掛け流し処理やパーミュライトの混合を行うことが肝要であると考えられた。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、稲葉正雄氏、浅川利子氏、堀井数己氏、鈴木和吉氏には試験ほ場の管理査等に多大なご協力をいただいた。また、放射性セシウムの測定については、放射性物質測定マネジメントチームに多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 植木正明 (2000) 排液を出さないいちごの高設式養液栽培システムの開発, 栃木農試試験成果集 19:21-22
- 植木正明 (1998) いちごの養液栽培における有機質培地の選定, 栃木農試試験成果集 17:79-80
- 栃木県 (2006) 農作物施肥基準:24
- 直井昌彦・畠山昭嗣・岡村昭子・稲葉幸雄・植木正明 (2008) イチゴの閉鎖型養液栽培に適した培養液処方, 栃木農試研究報告 63:59-68
- 津村昭人・駒村美佐子・小林宏信 (1984) 土壌及び土壌-植物系における放射性ストロンチウムとセシウムの挙動に関する研究, 農業技術研究所報告.B,土壌肥料 36:57-113
- 日本土壌肥料学会土壌・農作物等への原発事故影響 WG (2013) 原発事故関連情報 (2) :セシウム (Cs) の土壌でのふるまいと農作物への移行.日本土壌肥料学会 HP
- 栃木県 (2012) 農耕地土壌詳細結果. 放射性物質の農産物への影響と対策 付表

