

Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中放射性物質の調理及び加工による影響の検討

鍋師 裕美

平成 24-28 年度厚生労働科学研究補助金 食品の安全確保推進研究事業

震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究 研究分担総合報告書

食品中放射性物質の調理及び加工による影響の検討

研究代表者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長
研究分担者 鍋師裕美 国立医薬品食品衛生研究所食品部主任研究官

研究要旨

放射性物質を含む食品の調理・加工による放射性物質総量や濃度の変化に関する情報の収集を目的に、合計 18 種類の食材を用いて 38 種類の調理・加工を実施し、調理・加工前後の食品中の放射性セシウム濃度の分析を行った。その結果、食品中の放射性セシウムは、調味やあく抜き、加熱などの目的で、調味液や水などの液体に浸漬する工程が含まれる調理・加工を実施すると、食品からの除去率が高くなることが明らかとなった。食品から除去された放射性セシウムは、食品を浸漬していた液体中に移行していた。一方、乾燥、焼く、揚げるなどの調理法では、食品から放射性セシウムはほとんど除去されなかった。このような調理法においては、放射性セシウム濃度比が調理後に高くなることが示唆されており、基準値超過となる危険性もあることから、原材料として用いる食品中の放射性セシウム濃度に注意する必要がある。また、大豆については調理・加工前後の放射性セシウムおよびストロンチウム 90 (Sr-90) 濃度の分析を行ったが、乾燥大豆から調整した豆乳とおからへの各放射性物質の分配割合は異なっており、放射性セシウムは主に可溶性成分を含む豆乳の方に、Sr-90 は主に不溶性成分を含むおからの方に多く分配されることが示唆された。

研究協力者 国立医薬品食品衛生研究所食品部 堤 智昭
国立医薬品食品衛生研究所食品部 松田りえ子

A. 研究目的

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、放射性物質が食品に混入する事態が発生した。このような事態を受け、事故直後の平成 23 年 3 月 17 日に食品中の放射性物質の暫定規制値が設定され、食品衛生法第 6 条に基づく規制が開始された。その後、より一層の安心、安全のため、食品から受ける年間預託実効線量の上限値を暫定規制値の 1/5 に引き下げた値である年間 1 mSv と

した新たな基準値が設定され、平成 24 年 4 月 1 日から現在に至るまで、生産者・地方自治体などにより、食品衛生法第 11 条に基づく検査が実施されている。これらの検査は主に出荷前に実施されており、基準値を上回る濃度の放射性セシウムを含む食品の流通防止に一定の効果を示している^{1,2)}。このように生産者や地方自治体などの努力により、現在市場に出回っている食品中に基準値を超えるようなレベルの放射性物質が含

まれることはほとんどないと考えられる。しかし、基準値未満のわずかな放射性物質であっても摂取を避けたいと考えるのは消費者の常であり、消費者側として実施できる放射性物質除去に関する情報を収集し、提供することは、「食の安心」の観点から重要であると考えられる。また、調理・加工によって生じる食品中の放射性物質総量や濃度の変化に関する情報の収集は、加工等によって基準値を超過する事案が発生するか否かを判断するためにも重要なうえ、調理・加工前の流通食品中の放射性物質濃度から実際の食事による放射性物質摂取量を推定するために有用なデータとなると考えられる。そこで本研究では、調理・加工による食品中の放射性物質の除去効果に関する情報収集を目的に放射性物質（主に放射性セシウム）を比較的高濃度に含む食品を用いて一般家庭で実施するような簡単な調理・加工を行い、調理前後の放射性物質濃度および総量の変化について検討した。

B. 実験

1. 試料中の放射性物質濃度の測定

放射性セシウムの調理・加工による挙動についての検討に用いた食品試料は、調理の前後にゲルマニウム半導体検出器付きγ線スペクトロメーター（Canberra社製、相対効率 36.3%）を用い、「文部科学省 放射能測定シリーズ 7 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」³⁾に記載の方法に基づいて、放射性セシウム濃度を測定した。測定方法の詳細は各年度の分担報告書に

記載している。また、調理の過程で得られた調味液やゆで汁なども採取できた試料については、放射性セシウム濃度を同様の方法で測定した。

Sr-90 の調理・加工による挙動についての検討に用いた食品試料は、同一ロット試料の一部を調理前の Sr-90 濃度の測定に用い、残りを調理・加工した後の Sr-90 濃度測定に用いた。試料中の Sr-90 濃度の測定は、「文部科学省 放射能測定法シリーズ 2 放射性ストロンチウム分析法」⁴⁾に記載されているイオン交換法及び水酸化鉄（Ⅲ）共沈法に従った。測定方法の詳細は平成 28 年度の分担報告書に記載している。

2. 食品試料の調理

本検討では、合計 18 種類の食材を用いて 38 種類の調理・加工を実施し、その過程における放射性セシウムの除去効果について検討した。また、大豆および大豆から加工したおから、豆腐、湯葉を用いて Sr-90 の調理・加工による挙動について検討した。用いた食材および調理・加工後の食品、調理・加工方法を表 1 にまとめて記載した。各検討における詳細な調理条件などについては、各年度の報告書に記載している。

3. 各食品試料の調理による重量変化、放射性セシウムあるいは Sr-90 濃度変化、残存割合などの算出

各食品試料を用いた調理加工の前後の重量、放射性セシウム濃度あるいは Sr-90 濃度（大豆の加工品）から、それぞれ 1 試行あたりの放射性セシウム量あ

るいは Sr-90 量を算出し、残存割合 Fr 、重量比 Pe 、濃度比 Pf 、除去率 (%) を算出した。算出式は下記の通りである⁵⁾。

残存割合 Fr = 調理・加工品中の放射性セシウム量 (Bq) / 材料中の放射性セシウム量 (Bq)

重量比 Pe = 調理・加工後の重量 (g) / 材料の重量 (g)

濃度比 Pf = 調理・加工品中の放射性セシウムあるいは Sr-90 濃度 (Bq/kg) / 材料中の放射性セシウムあるいは Sr-90 濃度 (Bq/kg)

除去率 (%) = $(1 - Fr) \times 100$

C. 結果及び考察

1. 調理・加工による放射性セシウムの挙動

各食材を用いて調理・加工を実施した際の放射性セシウムの除去率、濃度比、重量比、残存割合を表 2 に示した。各食材について、一般的な調理法について検討した結果、調味、水戻し、あく抜き、組織軟化の目的で実施される液体（調味液、水など）への浸漬および茹での過程を含む調理を実施することで、調理前の食材に含まれる約 30～90% の放射性セシウムが食品から除去されることが明らかとなった。また、ゆで時間や液体への浸漬時間、浸漬温度、浸漬した液体中の放射性セシウム濃度などがその除去効率に影響することや、重曹のような植物の組織軟化を促進する添加物は、放射性セシウムの除去にも促進的に働く可能性が示唆された。ウメの砂糖漬けのように長期の漬け込みにより果汁が分離するような加工では、果汁中に放射性セシウムが

溶出し、一定期間まではウメ中の放射性セシウム残存割合は減少するものの、果汁中の放射性セシウム濃度とウメ中の放射性セシウム濃度が平衡に達すると放射性セシウムの移行は起こらず、その後時間が経過してもウメ中の放射性セシウム残存割合に変化が生じないことも明らかとなった。一方で、単純に乾燥させるだけの加工や煮汁ごと煮詰めるような調理、焼く、揚げるなどの短時間の加熱調理については、ほとんど放射性セシウムが食品から除去されないことが示された。さらにこのような調理・加工品では放射性セシウムの濃度比が調理前の食材を上回る場合があることを明らかにしており、食品中の放射性物質の基準値を超えていない原材料を用いて加工品を製造した際に、調理・加工方法によっては基準値を超過する可能性があることに注意が必要である。大豆の加工では、大豆中の放射性セシウムは豆乳に約 64%、おからに約 30% の割合で分配されることを明らかにしており、大豆中の放射性セシウムは大豆中の可溶性成分とともに豆乳の方に多く分配されると考えられた。

2. 調理・加工によるストロンチウム 90 の挙動

加工前的大豆および加工後にできたおから、豆腐、湯葉について Sr-90 濃度 (Bq/kg) の分析を実施したが、豆腐、湯葉については、試料量が少なく、Sr-90 濃度が検出下限値未満となったため、1 試行あたりの Sr-90 量や残存割合などを算出できなかった。Sr-90 が検出できたおからの Sr-90 の除去率、濃度比、重量比、

残存割合を表3に示した。大豆からおからと豆乳を分けるまでの工程では、大豆を浸漬した水を使用して生呉を作製しており、含まれている元素や栄養成分は損失せずにおからと豆乳に分配されていると考えられる。本検討により、おからには元の大豆の0.64のSr-90が残存していることが明らかになったことから、豆乳には残りの0.36程度のSr-90が分配されていると推定された。放射性セシウムでの検討では、大豆から豆乳とおからを調製した場合、大豆中の放射性セシウムは豆乳に64%、おからに30%の割合で分配されることを明らかとしている。Sr-90においては、放射性セシウムとは異なる比率でおからと豆乳中に分配していることが明らかとなった。

D. 結論

本研究の結果、食品中の放射性セシウムは、液体への浸漬の過程が含まれる調理法を実施すると高効率で除去されること、その一方で液体への浸漬の過程がない調理法ではほとんど除去されないことが明らかとなった。各調理による食品中の放射性セシウムの除去率を液体への浸漬の有無で分けてグラフにし、図1に示す。液体への浸漬を実施した場合、食品から液体への放射性セシウムの移動が起るため、乾しいたけの戻し汁をだし汁として使用するなどのように、浸漬後の液体を摂取した場合には実質的な除去としないことに注意が必要である。また、食品の単純な乾燥により加工された食品では放射性セシウム濃度比が加工前の食品よりも高くなる場合があり、基準値を

超過していない食品を原材料としていても加工後の製品では基準値を超過する危険性があるため原材料中の放射性セシウムの濃度に注意が必要であると考えられた。

大豆から豆乳(主に可溶性成分を含む)とおから(主に不溶性成分を含む)のように成分を分けて加工されるような食品については、放射性セシウムは可溶性成分の方に多く分配され、放射性ストロンチウム(Sr-90)は種皮などを含む不溶性成分の方に多く分配されることが明らかとなり、各元素の特徴に応じた調理・加工が除去効率を高めるためには重要であることが示唆された。

E. 参考文献

- 1) 鍋師裕美, 堤 智昭, 五十嵐敦子, 蜂須賀暁子, 松田りえ子 (2013) 流通食品中の放射性セシウム調査. 食品衛生学雑誌 54(2) : 131-150.
- 2) 植草義徳, 鍋師裕美, 中村里香, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子, 手島玲子 (2015) 市販流通食品中の放射性セシウム調査 (平成 24 年度および平成 25 年度). 食品衛生学雑誌 56(2) : 49-56.
- 3) 文部科学省 科学技術・学術政策局 原子力安全課防災環境対策室. 放射能測定法シリーズ 7 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー. 平成 4 年改訂 <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/lib/No7.pdf>
- 4) 文部科学省 科学技術・学術政策局 原子力安全課防災環境対策室. 放射能測定法シリーズ 2 放射性ストロンチウ

ム分析法．平成15年改訂
<http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/lib/No2.pdf>

- 5) 環境パラメータ・シリーズ4 増補版 (2013). 食品の調理・加工による放射性核種の除去率－我が国の放射性セシウムの除去率データを中心に－(公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター)

F. 研究発表

1. 論文発表

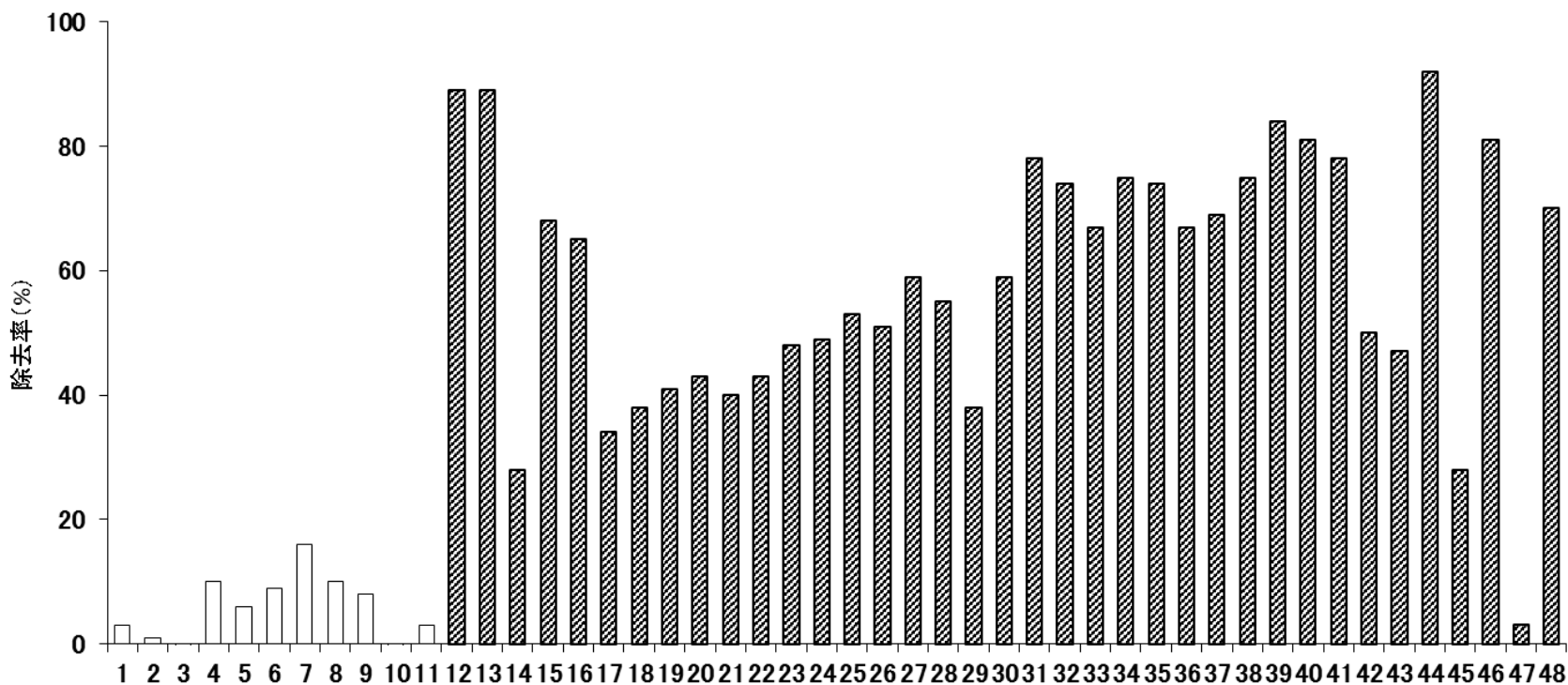
1. 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子: 調味液への浸漬による牛肉中放射性セシウム量の変化に関する検討, 食品衛生学雑誌 54(4):298-302, 2013.
2. 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子: わかさぎ中の放射性セシウムの調理による除去効果に関する検討, 食品衛生学雑誌 54(4):303-308, 2013
3. Nabeshi H., Tsutsumi T., Uekusa Y., Matsuda R., Akiyama H., Teshima R., Hachisuka A.: Effects of Cooking Process on the Changes of Concentration and Total Amount of Radioactive Cesium in Beef, Wild Plants and Fruits., Radioisotopes. 65(2): 45-58 (2016)
4. 鍋師裕美: 調理加工による食品中の放射性セシウム量の低減効果について, ILSI JAPAN, 125, 4-12 (2016)

2. 学会発表

1. 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子: 調味液への浸漬による牛肉中放射性セシウムの低減に関する検討. 日本食品衛生学会第104回学術講演会, 岡山, 2012年9月.
2. 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子, 手島玲子: わかさぎ中放射性セシウムの調理による除去効果に関する検討. 日本食品衛生学会第105回学術講演会, 沖縄, 2013年11月.
3. 鍋師裕美, 堤 智昭, 植草義徳, 松田りえ子, 蜂須賀暁子, 手島玲子, 樺山 浩: 牛肉・山菜類・果実類中の放射性セシウムの調理影響に関する検討. 第52回全国衛生化学技術協議会年会, 静岡, 2015年12月

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし。
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし



液体への浸漬がない調理

液体への浸漬がある調理

1:ビーフジャーキー 2:ウナギ蒲焼き 3:ワカサギ素焼き 4:ワカサギ甘露煮 5:ワカサギ唐揚げ 6:ドライブルーベリー 7:ブルーベリージャム 8:ナツハゼジャム 9:焼きシイタケ 10:タラの芽てんぷら 11:コシアブラてんぷら 12:ビーフジャーキー(10%食塩水で調味) 13:ビーフジャーキー(20%食塩水で調味) 14:ワカサギ南蛮漬 15:ヒメマス一夜干し 16:ヒメマス燻製 17:ウメ砂糖漬(氷砂糖)6日間 18:ウメ砂糖漬(氷砂糖)11日間 19:ウメ砂糖漬(氷砂糖)18日間 20:ウメ砂糖漬(氷砂糖)32日間 21:ウメ砂糖漬(氷砂糖)67日間 22:ウメ砂糖漬(氷砂糖)120日間 23:ウメ砂糖漬(上白糖)6日間 24:ウメ砂糖漬(上白糖)11日間 25:ウメ砂糖漬(上白糖)18日間 26:ウメ砂糖漬(上白糖)32日間 27:ウメ砂糖漬(上白糖)67日間 28:ウメ砂糖漬(上白糖)120日間 29:茹でナメコ 30:水戻しシイタケ(冷蔵)2時間 31:水戻しシイタケ(冷蔵)4時間 32:水戻しシイタケ(冷蔵)6時間 33:水戻しシイタケ(常温)2時間 34:水戻しシイタケ(常温)4時間 35:水戻しシイタケ(常温)6時間 36:水戻しマイタケ(15倍量の水) 37:水戻しマイタケ(15倍量の水)後加熱 38:水戻しマイタケ(30倍量の水) 39:水戻しマイタケ(30倍量の水)後加熱 40:タケノコあく抜き(米ぬか) 41:タケノコあく抜き(重曹) 42:コシアブラあく抜き 43:コシアブラあく抜き後油炒め 44:ワラビあく抜き(重曹) 45:ワラビあく抜き(小麦粉) 46:ゼンマイあく抜き(重曹) 47:ゼンマイあく抜き(小麦粉) 48:イワタケ洗浄

図1: 各調理・加工による食品からの放射性セシウムの除去率

表1：食材および調理・加工方法

食材	調理・加工品	調理・加工方法
牛肉	ビーフジャーキー	乾燥
	ビーフジャーキー(10%食塩水で調味)	10%食塩水に浸漬後乾燥
	ビーフジャーキー(20%食塩水で調味)	20%食塩水に浸漬後乾燥
ウナギ	蒲焼き	タレを塗って網焼き
ワカサギ	素焼き	フライパン焼き
	甘露煮	素焼き後調味液を煮からめる
	唐揚げ	片栗粉をまぶして油で揚げる
	南蛮漬け	唐揚げ後、南蛮酢に浸漬
ヒメマス	一夜干し	塩水に浸漬、塩抜き後に冷蔵庫で一夜干し
	燻製	一夜干し後に温燻
ブルーベリー	ドライブルーベリー	乾燥
	ジャム	砂糖を加えて煮詰める
ナツハゼ	ジャム	砂糖を加えて煮詰める
ウメ	砂糖漬け(氷砂糖)	氷砂糖を加えて冷蔵庫で保存
	砂糖漬け(上白糖)	上白糖を加えて冷蔵庫で保存
ナメコ	茹でナメコ	茹で
シイタケ	焼きシイタケ	フライパン焼き
乾シイタケ	水戻しシイタケ(冷蔵)	20倍量の常温水に浸漬し、4℃で膨潤
	水戻しシイタケ(常温)	20倍量の温水に浸漬し、常温で膨潤
乾燥マイタケ	水戻しマイタケ(15倍量の水)	15倍量の常温水に浸漬し、常温で膨潤
	水戻しマイタケ(15倍量の水)後加熱	15倍量の水で戻した後、戻し汁中で加熱
	水戻しマイタケ(30倍量の水)	30倍量の常温水に浸漬し、常温で膨潤
	水戻しマイタケ(30倍量の水)後加熱	30倍量の水で戻した後、戻し汁中で加熱
タケノコ	あく抜き(米ぬか)	米ぬか入りの水で茹でた後、ゆで汁に浸漬
	あく抜き(重曹)	重曹入りの水で茹でた後、ゆで汁に浸漬
タラの芽	てんぷら	バター液を絡めて油で揚げる
コシアブラ	てんぷら	バター液を絡めて油で揚げる
	あく抜き	塩茹で後、水中に浸漬
	油炒め	あく抜き後、油で炒める
ワラビ	あく抜き(重曹)	重曹入りの水で茹でた後、水中に浸漬
	あく抜き(小麦粉)	小麦粉と食塩入りの水で茹でた後、水中に浸漬
ゼンマイ	あく抜き(重曹)	重曹入りの水で茹でた後、水中に浸漬
	あく抜き(小麦粉)	小麦粉と食塩入りの水で茹でた後、水中に浸漬
イワタケ	洗浄	水戻し後、ブラシで表面をこすり洗い
大豆	豆乳	大豆を水中で膨潤・粉碎後加熱し、液体を分離
	おから	大豆を水中で膨潤・粉碎後加熱し、固体を分離
	豆腐	豆乳ににがりを加えて固め、重しを置いて脱水
	湯葉	豆乳を温め、表面にできた膜を分離

表 2：各食材の調理・加工による放射性セシウムの除去率、濃度比、重量比、残存割合

食材	調理・加工品	除去率 (%)	濃度比	重量比	残存割合			試料数	
					平均	最小	最大		
牛肉	ビーフジャーキー	3	2.6	0.37	0.97	0.92	1.0	3	
	ビーフジャーキー(10%食塩水で調味)	89	0.34	0.32	0.11	0.09	0.12	3	
	ビーフジャーキー(20%食塩水で調味)	89	0.31	0.35	0.11	0.10	0.11	3	
ウナギ	蒲焼き	1	1.7	0.59	0.99	0.97	1.0	2	
ワカサギ	素焼き	-5	1.6	0.64	1.1	0.95	1.1	3	
	甘露煮	10	1.2	0.78	0.90	0.85	0.92	3	
	唐揚げ	6	1.2	0.92	0.94	0.90	0.99	3	
	南蛮漬け	28	0.49	1.5	0.72	0.68	0.78	3	
ヒメマス	一夜干し	68	0.34	0.92	0.32	0.28	0.35	2	
	燻製	65	0.45	0.79	0.35	0.30	0.39	3	
ブルーベリー	ドライブルーベリー	9	4.7	0.19	0.91	0.78	1.0	3	
	ジャム	16	0.86	0.98	0.84	0.78	0.94	3	
ナツハゼ	ジャム	10	0.74	1.2	0.90	0.86	0.98	3	
ウメ	砂糖漬け(氷砂糖) 6日間	34	0.58	1.1	0.66	0.62	0.71	3	
		11日間	38	0.54	1.1	0.62	0.58	0.67	3
		18日間	41	0.51	1.1	0.59	0.53	0.65	3
		32日間	43	0.49	1.2	0.57	0.51	0.63	3
		67日間	40	0.51	1.2	0.60	0.56	0.63	3
		120日間	43	0.48	1.2	0.57	0.54	0.60	3
	砂糖漬け(上白糖) 6日間	48	0.50	1.0	0.52	0.51	0.54	3	
		11日間	49	0.49	1.0	0.51	0.46	0.55	3
		18日間	53	0.43	1.0	0.44	0.42	0.45	3
		32日間	51	0.47	1.0	0.49	0.36	0.45	3
		67日間	59	0.40	1.0	0.41	0.36	0.45	3
		120日間	55	0.43	1.0	0.45	0.37	0.50	3
ナメコ	茹でナメコ	38	0.65	0.96	0.62	0.55	0.74	3	
シイタケ	焼きシイタケ	8	1.2	0.77	0.92	0.77	0.99	3	
乾シイタケ	水戻しシイタケ(冷蔵) 2時間	59	0.10	4.0	0.41	0.41	0.42	2	
		4時間	78	0.05	4.3	0.22	0.20	0.24	2
		6時間	74	0.06	4.4	0.26	0.24	0.27	2
	水戻しシイタケ(常温) 2時間	67	0.09	3.9	0.33	0.28	0.38	2	
		4時間	75	0.06	4.1	0.25	0.25	0.25	2
		6時間	74	0.06	4.2	0.26	0.24	0.28	2
乾燥マイタケ	水戻しマイタケ(15倍量の水)	67	0.09	3.7	0.33	0.33	0.33	1	
	水戻しマイタケ(15倍量の水) 後加熱	69	0.08	3.7	0.31	0.31	0.31	1	
	水戻しマイタケ(30倍量の水)	75	0.06	4.1	0.25	0.25	0.25	1	
	水戻しマイタケ(30倍量の水) 後加熱	84	0.05	3.5	0.16	0.16	0.16	1	
タケノコ	あく抜き(米ぬか)	81	0.19	1.0	0.19	0.12	0.27	6	
	あく抜き(重曹)	78	0.22	1.0	0.22	0.13	0.33	6	
タラの芽	てんぷら	-7	0.54	2.0	1.1	0.83	1.2	3	
コシアブラ	てんぷら	3	0.55	1.8	0.97	0.94	1.0	2	
	あく抜き	50	0.62	0.81	0.50	0.39	0.61	2	
	油炒め	47	0.66	0.8	0.53	0.49	0.57	3	
ワラビ	あく抜き(重曹)	92	0.08	1.1	0.08	0.04	0.10	3	
	あく抜き(小麦粉)	28	0.72	1.0	0.72	0.62	0.79	3	
ゼンマイ	あく抜き(重曹)	81	0.15	1.3	0.19	0.17	0.21	3	
	あく抜き(小麦粉)	3	0.85	1.2	0.97	0.92	1.0	3	
イワタケ	洗浄	70	0.13	2.3	0.30	0.30	0.30	1	
大豆	豆乳	36	0.15	4.2	0.64	0.52	0.79	3	
	おから	70	0.19	1.6	0.30	0.28	0.33	3	
	豆腐	87	0.12	1.1	0.13	0.11	0.16	3	
	湯葉	83	0.26	0.64	0.17	0.15	0.19	3	

表 3 : 大豆の加工によるストロンチウム 90 の除去率、濃度比、重量比、残存割合

食材	調理・加工品	除去率	濃度比	重量比	残存割合			試料数
		(%)			平均	最小	最大	
大豆	おから	35	0.4	1.6	0.64	0.58	0.72	3

