

表1 試料の充填率による重量あたりの正味計数率及び濃度算出への影響
(ウェル型NaI検出器、20mLバイアルを用いた20本の平均値の比較)

	I	II	III	IV	V
充填率 (100%=20mL)	100%	95%	95%	105%	50%
空隙	—	下部5%	上部5%	—	上部50%
正味計数值 count	56521	52217	54844	60372	35583
正味計数率cpm	942.0	870.3	914.1	981.6	593.0
正味計数率の測定値の分布の 標準偏差 mSD(cpm)	18.4	20.0	20.7	21.3	14.6
正味計数率の測定値の分布の 相対標準偏差 mRSD(cpm)	1.95	2.30	2.26	2.17	2.46
正味計数率の計数誤差の標準 偏差 cSD(cpm)	4.1	3.9	4.0	4.8	3.7
正味計数率の計数誤差の相対 標準偏差 cRSD(cpm)	0.43	0.45	0.44	0.49	0.62
重量あたりの正味計数率 cpm/g	52.3	51.2	53.8	51.6	63.1
重量あたりの正味計数率の分布 の標準偏差 mSD(cpm/g)	1.0	1.2	1.2	1.1	1.7
重量あたりの正味計数率の分布 の相対標準偏差 mRSD(cpm/g)	1.96	2.31	2.28	2.19	2.64
重量あたりの相対正味計数率 (充填率100%を1とした場合)	1.00	0.978	1.028	0.987	1.206
充填率100%のときの計数効率を 用いて試料濃度を計算した場合	—	2% 過小評価	3% 過大評価	1% 過小評価	20% 過大評価

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 27 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
分担研究報告書

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代謝生化学部第一室長
研究分担者 鍋師裕美 国立医薬品食品衛生研究所食品部第二室主任研究官

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、各種食品（大豆、タケノコ、ウメ、ウナギ）を用いて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、大豆の加工では、大豆中の放射性セシウムは、豆乳とおからにそれぞれ約 60%と約 35%に分配されることが明らかとなった。また、加工後の食品となる豆乳、おから、豆腐、湯葉における放射性セシウムの除去率はそれぞれ 36、70、87、83%であった。これらの放射性セシウム濃度比は、大豆に対してはすべて 1.0 を下回っていた。一方、豆乳を原材料としてみると湯葉における濃度比は 1.7 となり、豆乳の放射性セシウム濃度を上回ることが明らかとなった。タケノコのあく抜きでは、長時間ゆで汁中にて浸漬する効果により、約 80%の放射性セシウムが除去されることが明らかとなった。ウメの砂糖漬けでは、放射性セシウム除去の経時的な変化を検討したが、浸漬後 30 日程度でウメと生成したシロップ中の放射性セシウム濃度が平衡に達し、それ以降の除去はほとんど起こらなかった。ウナギの蒲焼きでは、放射性セシウムの除去効果は認められなかった。本研究の結果、加工の途中でおからと豆乳に放射性セシウムが分配される豆腐や湯葉、液体中での浸漬の工程を経るタケノコのあく抜きやウメの砂糖漬けでは、比較的高効率に放射性セシウムが除去されることが示された。また、豆乳に対する湯葉のように加工後、原材料の放射性セシウム濃度より高濃度になる食品があることには注意が必要である。

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/year 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。出荷前および流通食品の検査結果は厚生労働省のホームページ上にて随時公開されており、食品中の放射性セシウム濃度の動向を知ることができるようになっている。流通食品の買い上げ調査における、基準値違反率は0.5%以下に抑えられており、出荷前検査が効率的に機能していることが示されている^{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セシウムが含まれることはほとんどないと考えられる。しかし、基準値以下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除去に関する情報を収集し、提供することは、食品の安心を確保する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上でも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セシウムを比較的高濃度に含む食品（大豆、タケノコ、ウメ、ウナギなど）を用いて簡単な調理・加工を行い、調理前後の放射性セシウム濃度および総量の変化について検討した。

B. 実験

1. 試料中の放射性セシウム濃度の測定

本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%)を用いて測定した。得られたスペクトルを解析ソフトウェア(ガンマエクスプローラー、Canberra社製)を用いて解析し、試料中の放射性セシウム濃度(Cs-134 + Cs-137)を算出した。母材は、ほとんどの食品試料については、「水・寒天」を選択したが、乾燥状態の食品試料(調理前的大豆)については、「海底土・土壌・灰化物」を選択して自己吸収補正を行った。測定時間は試料中の放射性セシウム濃度に応じて600~7200秒とした。測定結果はサム効果補正を行った。また、調理前の食品試料中の放射性セシウム濃度を測定した日を基準日として減衰補正を行なった。「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⁾に記載のとおり、複数の異なるエネルギーを持つγ線を放出するCs-134は、壊変で生じる475.4、563.3、569.3、604.7、795.8、801.8、1038.5、1167.9、1365.1 keVのピークから得られた荷重平均放射能濃度を算出し、Cs-137の661.6 keVの放射能濃度との合計値を試料中の放射性セシウム濃度とした。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ものについては、放射性セシウム濃度の測定を同様の方法で行った。

2. 食品試料の調理

2-1. 大豆の加工(豆乳・おから・豆腐・湯葉への加工)

大豆は、煮豆や煎り豆、豆腐、豆乳、おからなど様々な食品に調理、加工される。本検討では、大豆から豆乳およびおからを調製し、それぞれへの放射性セシウムの移行割合などを確認した後、豆乳を2分し、豆腐および湯葉に加工した。豆腐および湯葉については、

調理前的大豆に対する放射性セシウムの移行割合等に加え、豆乳に対する移行率割合等も同時に検討した。

まず、大豆を水で3回(合計5Lの水を使用)洗浄し、ザルに上げて水分を除いた後、U8 容器に移し、重量および放射性セシウム濃度を測定した。その後、(1)大豆の膨潤、(2)生呉の作製、(3)煮呉の作製、(4)豆乳・おからの作成、(5)豆腐の作製、(6)湯葉の作製を順に行った。それぞれの加工法は以下の通りである。また、加工の流れを図1に示す。

(1)大豆の水戻し

- ① 大豆の乾燥重量の3倍量の水に大豆を室温で約40時間浸漬した。
- ② 水戻し後の大豆、戻し後の水を分け、全体重量を測定後、一部をU8容器に取り、Ge検出器にて測定した。

(2)生呉の作製

- ① 水戻し後の大豆、戻し後の水を家庭用ミキサーに入れ、大豆を粉砕した。細かく粉砕するため、一度粉砕した生呉を再度ミキサーにて粉砕した。
- ② できた生呉の全体重量を測定後、一部をU8容器に取り、Ge検出器にて測定した。

(3)煮呉の作製

- ① 生呉と同量の水を鍋で沸騰させ、生呉を加えてかき混ぜながら、10分間煮た。
- ② 途中、出たアクを取り、アク全量の重量測定後、一部をPP200容器に取りGe検出器にて測定した。
- ③ 10分加熱後の煮呉の全重量を測定後、一部をU8容器に取りGe検出器にて測定した。

(4)豆乳・おからの作製

- ① 煮呉を熱いうちにさらしに取って絞り、豆乳とおからに分けた。
- ② 豆乳、おからそれぞれの全重量を測定後、一部をU8容器に取りGe検出器にて測定した。

(5)豆腐の作製

- ① 豆乳1200gを鍋に移し、80°Cに温めた後、ニガリ液(ニガリ原液(手づくり豆腐用天塩にがり、株式会社天塩)12.5mlを白湯50mlで希釈したもの)を加えて軽く混ぜ、ふたをして15分間放置した。
- ② さらしを敷いた豆腐型に入れ、上から約1kgの重しを載せて1時間水を切った。
- ③ できた豆腐と分離した水の全重量を測定後、一部をPP200容器に入れ、Ge検出器にて測定した。

(6)湯葉の作製

- ① 残りの豆乳をグリルパンに移し、80°C程度に温め、表面に張った膜(湯葉)をくみ上げた。
- ② 豆乳が少なくなるまでこれを繰り返した。
- ③ 湯葉と残った豆乳の全重量を測定後、一部をU8容器に入れ、Ge検出器にて測定した。

すべての検討は同一ロットの大豆を用いて3試行実施した。

2-2. タケノコのおく抜き

タケノコのおく抜きは、外皮をつけた丸のまま実施されることが一般的であるが、本検討では、調理前のタケノコの放射性セシウム濃度の測定が必要であるため、外皮を除き、

縦に4分割したそれぞれの重量を測定後、そのうちの1つを細切してU8容器に充填し、放射性セシウム濃度を測定した。残りの3つについては、それぞれ別々にあく抜きの実施し、調理前に測定した4分割のうちの1つのタケノコに対する放射性セシウムの除去率等のデータを得た。

あく抜きは、(1)米ぬかを用いた方法と(2)重曹を用いた方法で検討した。

(1)米ぬかを用いたあく抜き

- ① 1000 gの水とお茶パックに入れた米ぬか20 gを鍋に入れ、横に2分したタケノコ試料を入れた。
- ② 蓋をして、沸騰するまで強火で加熱した(約5分間)。
- ③ 弱火にして20分間ゆでた後、ゆで汁ごと容器に移し、一晩放置した(約20時間)。

(2)重曹を用いたあく抜き

- ① 1000 gの水と重曹2.5 gを鍋に入れ、横に2分したタケノコ試料を入れた。
- ② 蓋をして、沸騰するまで強火で加熱した(約5分間)。
- ③ 弱火にして、20分間ゆでた後、ゆで汁ごと容器に移し、一晩放置した(約20時間)。

あく抜き後のタケノコは、それぞれ細切した後、U8容器に充填し、重量および放射性セシウム濃度を測定した。調理は米ぬか、重曹ともにそれぞれ2ロットのタケノコを用いて3併行(合計6試行)で実施した。

2-3. ウメの砂糖漬け

ウメは冷凍保存品の小梅を用いて検討した。凍ったままV300容器(300 mL)に充填して、重量測定後、放射性セシウム濃度を測定

した。測定後のウメを熱湯消毒した瓶に移し、砂糖をウメと同量加えて、軽く振り混ぜてから4°Cで保存し、経時的(6日後、11日後、18日後、32日後、67日後、120日後)にウメとシロップ中の放射性セシウム濃度を測定し、各時点における除去率・移行率などを算出した。ウメに加えた砂糖は(1)氷砂糖、(2)上白糖を用い、砂糖の形状の違いの影響を検討した。

検討は、(1)氷砂糖、(2)上白糖ともに3併行で実施した。

2-4. ウナギの蒲焼き

ウナギは、腹開きにして頭、内蔵、骨を除き、1匹を半分切断した後、U8容器に充填し、重量測定後、放射性セシウム濃度を測定した。測定後のウナギに金属串を刺して、魚焼き網にて中火で皮側5分間、身側3分間焼き、あらかじめ調製しておいたタレ(水、砂糖、醤油を各20 gずつ混合し、全体量が約40 gになるまで煮詰めたもの)を刷毛で両面にひと塗りし、再度、皮側2分間、身側2分間焼いた。調理後のウナギは重量後、細切してU8容器に充填し、放射性セシウム濃度を測定した。調理は1匹のウナギの頭側の半身と尾側の半身を用いて2併行で実施した。

3. 各食品試料の調理による重量変化、放射性セシウム濃度変化、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から、それぞれ1試行あたりの放射性セシウム量を算出し、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⁴⁾。

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濃度 (Bq/kg) / 材料中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg)

$$\text{除去率 (\%)} = (1 - Fr) \times 100$$

C. 結果及び考察

1. 大豆の加工(豆乳・おから・豆腐・湯葉への加工)

洗浄後の大豆を調理前試料として、大豆の加工における各工程後の重量、放射性セシウム濃度 (Bq/kg)、1 検体あたりの放射性セシウム量 (Bq) などの情報を表 1 に示した。また、最終産物が食品となる豆乳、おから、豆腐、湯葉については、最終除去率を表 1 に示すとともに、残存割合 Fr 、重量比 Pe 、濃度比 Pf 、除去率 (%) を表 2 に示した。

洗浄後の大豆に、大豆の乾燥重量の 3 倍量の水を加えて室温で約 40 時間浸漬すると、大豆の重量比は約 2.3 となり、放射性セシウム濃度は、51 Bq/kg から 18 Bq/kg に低下した。この時、大豆への放射性セシウムの残存割合は 0.81、浸漬した水への放射性セシウムの移行割合は 0.11 となった。すなわち、大豆を膨潤させる段階で放射性セシウムが約 20% 除去されることが示された。

大豆の加工においては、戻し水中に溶出した栄養成分等を活かすために、大豆の加熱の際に戻し水を使う場合も多い。本検討では、一般的な豆腐の作製手順に従い、戻し水と一緒に水戻し後大豆をミキサーで粉碎し、生呉を作製した。生呉の重量は、大豆と戻し水を合わせているため、2200 g 程度となり、重量比は 3.4 となった。生呉の放射性セシウム濃度は 14 Bq/kg となり、1 検体あたりの放射性

セシウム量は 30 Bq となった。放射性セシウムの残存割合は 0.93 となり、水戻し後の大豆と戻し水中の放射性セシウムの合計値とほぼ一致する結果となった。ここまでの工程では、作業上生じた試料の損失以外に、放射性セシウムが除去されるステップがないため、放射性セシウムはほとんど除去されていない。

生呉に同量の水を加えて加熱し、豆乳とおからに分離する前の段階が煮呉であるが、生呉を加熱すると、起泡性成分のサポニンなどが溶出する。そこで、これをあくとして回収し、煮呉とともにあく中の放射性セシウム濃度についても測定した。煮呉の重量は約 4400 g となり、放射性セシウム濃度は 7.0 Bq/kg となった。生呉と同量の水を加えているため、生呉の 2 倍の重量、1/2 の濃度になっている。1 検体あたりの放射性セシウム量は 31 Bq、放射性セシウムの残存割合は 0.92 となり、生呉と同等の結果となった。あく中の放射性セシウム濃度は 7.3 Bq/kg と煮呉の放射性セシウム濃度と同等であり、あく成分と放射性セシウムが相互作用し、あく成分に放射性セシウムが濃縮されるというようなことは生じないことが明らかとなった。あく中の放射性セシウム量は 1.7 Bq であり、およそ 5% の放射性セシウムが除去された。

煮呉を熱いうちにさらしで漉し、豆乳とおからを分離した。豆乳およびおからの重量はそれぞれ約 2700 g および約 1000 g であり、洗浄後大豆に対する重量比は 4.2 および 1.6 であった。豆乳中の放射性セシウム濃度は 7.7 Bq/kg であり、1 検体あたりの放射性セシウム量は 21 Bq となった。放射性セシウムの残存割合は 0.64 であった。一方、おから中の放射性セシウム濃度は 9.4 Bq/kg であり、豆乳中の放射性セシウム濃度より 1.2 倍程度高

い濃度であった。1 検体あたりの放射性セシウム量は 9.8 Bq、放射性セシウムの残存割合は 0.30 となった。この結果から、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が明らかとなった。また、洗浄後大豆に対する豆乳およびおからの濃度比は、0.15 および 0.19 であり、八戸らの報告⁵⁾ とほぼ一致していた。

豆腐および湯葉への加工は、調製した豆乳をおよそ半量ずつ用いて実施した。実際に使用した豆乳の重量から洗浄後大豆の使用量を算出し、調理前の重量とした。また、豆腐および湯葉については、豆乳を調理前試料として各重量、放射能濃度、1 検体あたりの放射性セシウム量などをまとめ表 3 に示した。さらに、豆乳に対する濃度比や重量比、残存割合などを表 4 にまとめた。

豆腐は、木綿豆腐の作製要領でにがりを加えた豆乳をさらしを敷いた木枠に入れ、重石によって余分な水分を除いて作製した。この際、染み出た水分についても回収し、重量および放射性セシウム濃度を測定した。豆腐の重量は約 340 g となり、豆乳使用量から算出した洗浄後大豆との重量比は 1.07 となった。豆腐中の放射性セシウム濃度は 6.3 Bq/kg、1 試行あたりの放射性セシウム量は 2.2 Bq であった。洗浄後大豆に対する濃度比は 0.12、残存割合は 0.13 となった。すなわち、放射性セシウムの除去率は 87%であった。大豆に対する豆腐中の放射性セシウムの残存割合についても八戸らの報告⁵⁾ と一致していた。一方、豆乳に対する濃度比は 0.83、残存割合は 0.21 となり、放射性セシウムの除去率は 79%となった。豆腐から出た水分には 6.4 Bq/kg の放射性セシウムが含まれており、この濃度は豆

腐中の濃度とほぼ同等であった。豆腐から出た水分への放射性セシウムの移行割合は、洗浄後大豆に対して 0.36、豆乳に対しては 0.57 であった。

湯葉は、豆乳を 80℃程度の温度で温め、生成した膜をくみ上げて作製した。湯葉の膜は豆乳中のたんぱく質が熱変性したものであり、たんぱく質と脂質に富む食品である。豆乳が少なくなり、膜が張らなくなるまで湯葉の作製を続け、残った豆乳を残り豆乳として重量および放射性セシウム濃度を測定した。作製できた湯葉の重量は約 180 g であり、豆乳使用量から算出した洗浄後大豆との重量比は 0.64 であった。湯葉中の放射性セシウム濃度は 13 Bq/kg、1 検体あたりの放射性セシウム量は 2.4 Bq となった。洗浄後大豆に対する濃度比は 0.26、残存割合は 0.17 となった。洗浄後大豆に対する除去率は 83%となり、豆腐と同程度であった。一方、豆乳に対する濃度比は 1.7、残存割合は 0.27、除去率は 73%となった。湯葉作製後に残存した豆乳中の放射性セシウム濃度は 18 Bq/kg であり、湯葉よりもやや高い濃度となった。1 検体あたりの放射性セシウム量は 5.0 Bq、残存割合は 0.55 であった。大豆を原材料として見た場合には、途中の過程で多くの加水があるため、含まれる放射性セシウムは希釈され、濃度は原材料よりも低くなるものの、豆乳を原材料として見た場合においては、加熱により水分が蒸発していくため、放射性セシウムは濃縮され、加工後の湯葉中の放射性セシウム濃度が豆乳中よりも 2 倍程度高くなるという結果となった。これは、放射性セシウムの基準値に適合した豆乳を原材料として用いた場合においても、加工品として出来上がった湯葉では、基準値を上回る可能性があることを示しており、

使用する豆乳の放射性セシウム濃度に注意が必要であると考えられた。

なお、洗浄前的大豆では放射性セシウム濃度が 62 Bq/kg、1 検体あたりの放射性セシウム量は 38 Bq であったが、洗浄後には放射性セシウム濃度が 51 Bq/kg、1 検体あたりの放射性セシウム量は 33 Bq に低下した。すなわち、洗浄による大豆からの放射性セシウムの除去率は 13% であった。

2. タケノコのおく抜き

タケノコのおく抜き前後の重量、放射性セシウム濃度などのデータを表 5 に示した。また、実測データを基に算出した濃度比などの情報を表 6 に示した。調理工程の各工程における試料の様子を図 2 にまとめた。

おく抜きは、米ぬかを用いた方法と重曹を用いた方法の 2 方法を用い、それぞれ別ロットのタケノコに対して調理を行った。使用したタケノコのロットにより重量や放射性セシウム濃度に違いがあったため、調理前後の重量や放射性セシウム濃度などのデータはロットごとに示したが、除去率や濃度比については、米ぬかでのおく抜き、重曹でのおく抜きでそれぞれ実施した 2 ロット、合計 6 試行の結果の平均値を示した。米ぬかを用いておく抜きを行なった場合、重量比は 1.02 とほとんど変化がなかった。一方で、放射性セシウム濃度は、調理前に 126 Bq/kg であったタケノコ①および 75 Bq/kg であったタケノコ②で、おく抜き後、それぞれ 16 Bq/kg および 19 Bq/kg に減少し、この 2 ロットの平均濃度比は 0.19 となった。残存割合は 0.19、除去率は 81% となり、米ぬかを用いたおく抜きを実施することによってタケノコに含まれる放射性セシウムの 80% 以上を除去することがで

きた。

重曹を用いておく抜きを行なった場合では、重量比は 1.02 となり、米ぬかを用いたおく抜きと同様に調理前後でほとんど変化がなかった。一方で、放射性セシウム濃度は、調理前に 202 Bq/kg であったタケノコ③および 93 Bq/kg であったタケノコ④で、おく抜き後、それぞれ 28 Bq/kg および 28 Bq/kg に減少し、この 2 ロットの平均濃度比は 0.22 となった。残存割合は 0.22、除去率は 78% となり、重曹を用いたおく抜きでも、米ぬかでのおく抜き同様、タケノコに含まれる放射性セシウムの約 80% を除去できることが明らかとなった。

今回、米ぬかでのおく抜きでも重曹でのおく抜きでも、試料重量に関わらず、加熱時間やゆで汁中での放置時間を一定にして検討を実施した。そのため、同じおく抜き方法でも試料重量の多い試料（タケノコ②およびタケノコ④）の方が 10% 程度放射性セシウムの除去率が低くなったものと考えられた。また、昨年度に報告したワラビやゼンマイでの検討ではでんぷんを利用したおく抜き方法である小麦粉を用いた検討とアルカリ性の重曹を用いた検討を比較すると、顕著に重曹を用いる方が放射性セシウムの除去率が高いことが示されたが、今回は、でんぷんを利用した米ぬかでも、重曹でもほとんど同程度の除去率であった。これは、ワラビ、ゼンマイでの検討では、ゆで時間やゆで汁や水中での浸漬時間が、小麦粉の検討と重曹の検討で大きく異なっていた一方、今回の検討では、添加剤以外の条件を同一にしたこと、特にゆで汁中への放置時間がどちらの条件も長かったことによるものと考えられた。

タケノコの調理では、採りたてを生や焼きで摂取するごく限られた摂取方法を除くほと

んどの場合で、あく抜きが行なわれる。タケノコの放射性セシウムの除去の観点からもあく抜きは有効な調理方法であると考えられた。一方、外皮をつけたままのあく抜きが一般的であるため、外皮の影響がどの程度あるかについては、検討する必要があると考えられた。

3. ウメの砂糖漬け

ウメは氷砂糖、上白糖で漬けたもの両方について、漬け込み後 6、11、18、32、67、120 日後にウメと砂糖が溶けてシロップとなったものを分離し、ウメおよびシロップの重量と放射性セシウム濃度を測定した。ウメの調理前後に測定したデータを表 7 に、これらの値を用いて算出した各種パラメータを表 8 に示した。また、放射性セシウムのウメ中の残存割合と、砂糖漬けの過程で生成するウメシロップへの移行割合の経時変化を図 3 に示した。

ウメの氷砂糖漬けでは、調理前 96 Bq/kg であったウメ中の放射性セシウム濃度が 6 日後には 56 Bq/kg に減少し、11 日後には 52 Bq/kg、18 日後には 50 Bq/kg、32 日後には 47 Bq/kg になった。32 日以降はウメ中の放射性セシウム濃度はほとんど減少せず、120 日後の放射性セシウム濃度は 46 Bq/kg であった。一方でシロップ中の放射性セシウム濃度は、6 日後では 33 Bq/kg、11 日後で 38 Bq/kg、18 日後で 41 Bq/kg、32 日後で 42 Bq/kg と徐々に増加した。測定各時点でのウメの放射セシウムの残存割合は、0.66、0.62、0.59、0.57、0.60、0.57 となり、漬け込み 6 日後までに 35% 程度の放射性セシウムがウメから除去されるものの、それ以降の除去率はわずかなものであることが明らかとなった。さらに、漬け込みからおよそ 1 ヶ月程度で、ウメ中の放射性セシウム濃度とシロップ中の放射性セシウム

濃度は同程度の濃度となっているため、それ以降の漬け込みでは経時的なウメからの放射性セシウムの除去、すなわちシロップへの移行がほとんど認められなかったものと考えられた。

上白糖における検討でも、ウメからの放射性セシウムの除去率が最初の 6 日間で高く、その後の除去率はわずかであること、約 1 ヶ月程度の漬け込みでウメとシロップ中の放射性セシウム濃度が同程度になるという氷砂糖での検討と同様の結果が得られた。上白糖では、6 日後のウメ中の放射性セシウムの残存割合が 0.52、それ以降の各時点での残存割合はそれぞれ 0.51、0.44、0.49、0.41、0.45 となり、氷砂糖より 10% 程度低い結果となったが、シロップ中への移行割合は氷砂糖と同程度であった。これは、調理前の濃度測定時の測定誤差に起因する可能性が考えられた。氷砂糖と上白糖ではやや上白糖で砂糖の溶解が早かったが、この差はわずかであり、放射性セシウムのウメからの除去に及ぼす影響については不明であった。

ウメシロップについては、関澤らが原料と同量の氷砂糖を添加し、15°C で 1 ヶ月間、放置した検討を報告している⁶⁾。この報告では、浸漬後のウメの重量比は 0.29、濃度比は 1.20 となっており、残存割合は 0.35 程度である。我々の検討では、32 日後のウメの重量比は 1.15、濃度比は 0.49、残存割合は 0.57 であった。関澤らの検討では大粒品種である白加賀を材料として 15°C で浸漬していたため、ウメからの果汁の溶出が多く、ウメ重量の減少率が大きかったものと考えられた。一方、我々の検討では小梅を用いて 4°C で浸漬したため、ウメからの果汁の溶出が少なく、放射性セシウムの溶出も少なかったものと考えられた。

4. ウナギの蒲焼き

ウナギの調理前後の実測データおよび算出した各種パラメータを表9および表10に示した。

ウナギを蒲焼きにした際の重量比は 0.59 となり、放射性セシウム濃度は調理前の 36 Bq/kg から、調理後には 61 Bq/kg に増加し、濃度比は 1.68 となった。ウナギを焼く過程で水分の蒸発や脂の溶出が起こるため、その分の重量が減少し、それに伴い、ウナギ中の放射性セシウム濃度が濃縮されたと考えられた。ウナギ中の放射性セシウムの残存割合は 0.99、除去率は 1% となり、ウナギを白焼きした後、そのままタレをつけて再度焼く関西風の蒲焼きでは、ウナギから放射性セシウムが除去されないことが明らかとなった。関東風のウナギの蒲焼きは、白焼きの後、蒸しの工程が入るため、今回の結果とは異なる可能性もある。検体の入手ができれば、関東風のウナギの蒲焼きについても検討を行いたい。

D. 結論

本検討の結果、大豆の加工では、大豆の水戻しや豆乳調製の際の加水などにより、加工前の乾燥大豆中の放射性セシウム濃度より加工後の豆乳やおから、豆腐、湯葉などの放射性セシウム濃度が高くなることはなかった。また、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約 65%、おからに約 30% の割合で分配されることが明らかとなった。一方で、豆乳を加工前の原材料とすると、湯葉中の放射性セシウム濃度は豆乳中の放射性セシウム濃度よりも高くなることが判明した。これは、基準値を満たした

豆乳を使用した場合においても、加工後の食品で基準値違反が発生する可能性を示唆しており、湯葉への加工の際には、豆乳中の放射性セシウム濃度に注意が必要である。

タケノコのおく抜きでは、重曹と米ぬかの添加物の違いによる差は認められなかったが、20 分間の加熱の後、ゆで汁中に 20 時間程度放置したことにより、タケノコ中の 80% の放射性セシウムが除去された。昨年度報告したワラビやゼンマイなどの山菜と同様、タケノコにおいても適切な前処理は、不味成分の除去にも、放射性セシウムの除去にも有用な工程であると考えられた。

ウメの砂糖漬けでは、ウメからシロップ中に 30~35% の放射性セシウムが移行することが明らかとなった。今回我々の検討では果汁の少ない小梅を用いたため、ウメの脱水が少なく、放射性セシウムのシロップへの移行も少なかったものと考えられた。ウメの砂糖漬けでは、ウメの脱水が多い場合には、ウメは摂取されず、主にシロップの方が利用されると考えられるが、ウメに水分が残っている状態ではウメも摂取される場合も多いと考えられる。ウメおよびシロップの両方を利用する場合、放射性セシウムの除去という観点では、その効果は高くないと考えられた。

ウナギの蒲焼きについては、焼きの調理であることから、これまでの検討で明らかとしてきたように^{7,8,9)}、放射性セシウムの除去にはほとんど効果がないことが明らかとなった。

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/1ib/No7.pdf>

4) 環境パラメーター・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ー我が国の放射性セシウムの除去率データを中心にー(公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター)

http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/RWMC-TRJ-130012_zyokyoritu_kaitei_honPen.pdf

5) Hachinohe, M., Kimura, K., Kubo, Y., Tanji, K., Hamamatsu, S. Hagiwara, S., Nei, D., Kameya, H., Nakagawa, R., Matsukura, U., Todoriki, S. and Kawamoto, S. 2013. Distribution of Radioactive Cesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) of the Contaminated Japanese Soybean cultivar during the preparation of Tofu, Natto, and Nimame (boiled soybean) . J. Food Prot. 76 : 1021-1026.

6) 関澤春仁, 山下慎司, 丹治克男, 吉岡邦雄 (2013). 果実の加工と放射性セシウムの動態, 日本食品科学工学会誌 60(12) : 718-722.

7) 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子 (2013). 乾しいたけの水戻し及び牛肉の加熱調理による放射性セシウム量の変化. 食品衛生学雑誌 54, 65-70.

8) 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子 (2013). 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.

9) 鍋師裕美, 堤 智昭, 蜂須賀暁子, 松田りえ子 (2013). 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.

F. 研究発表

1. 論文発表

1. 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)

2. 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, 植草義徳, 松田りえ子, 蜂須賀暁子, 手島玲子, 穉山 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

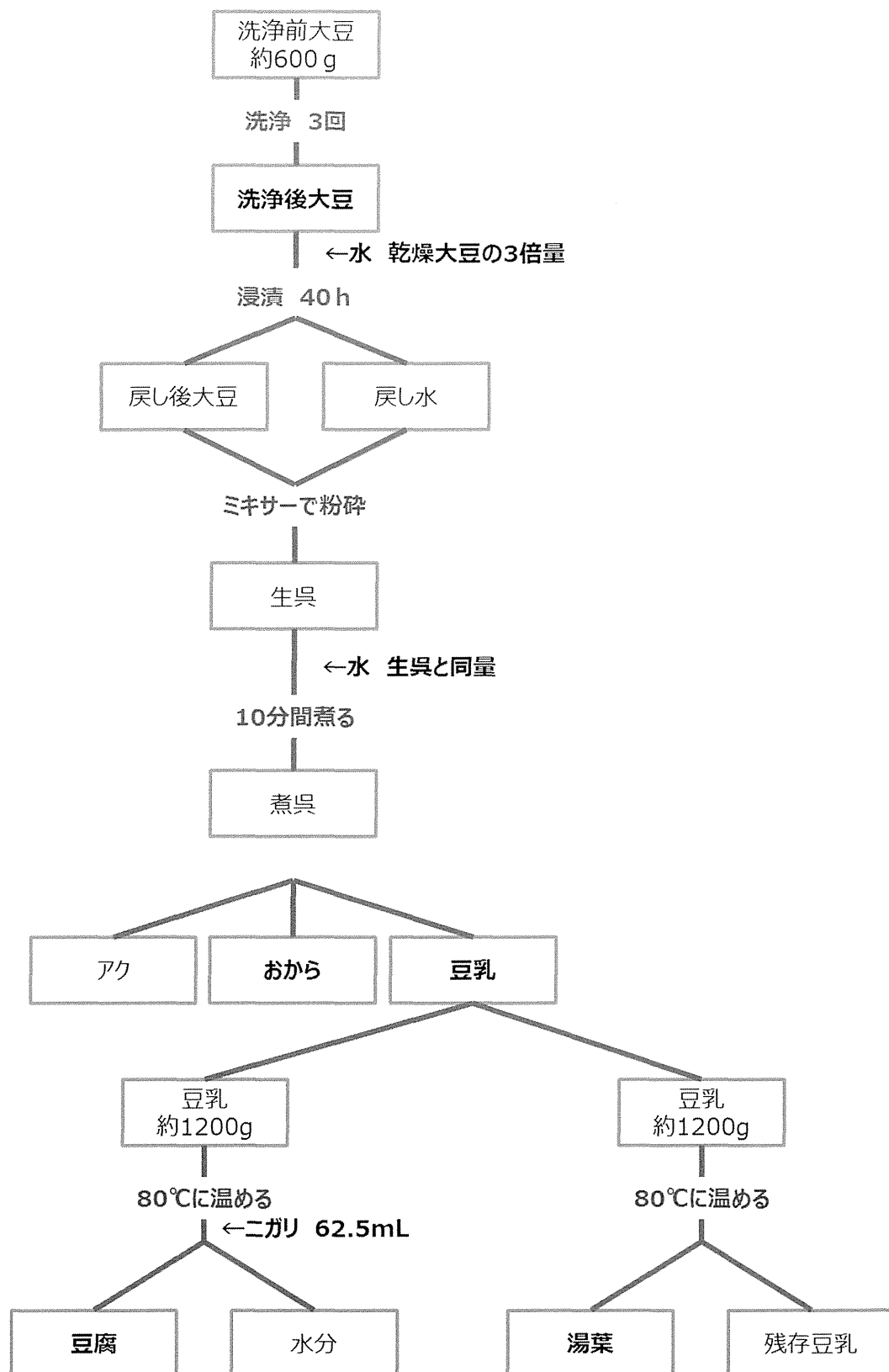


図1：大豆の加工の流れ



図2：タケノコのおく抜きの様子

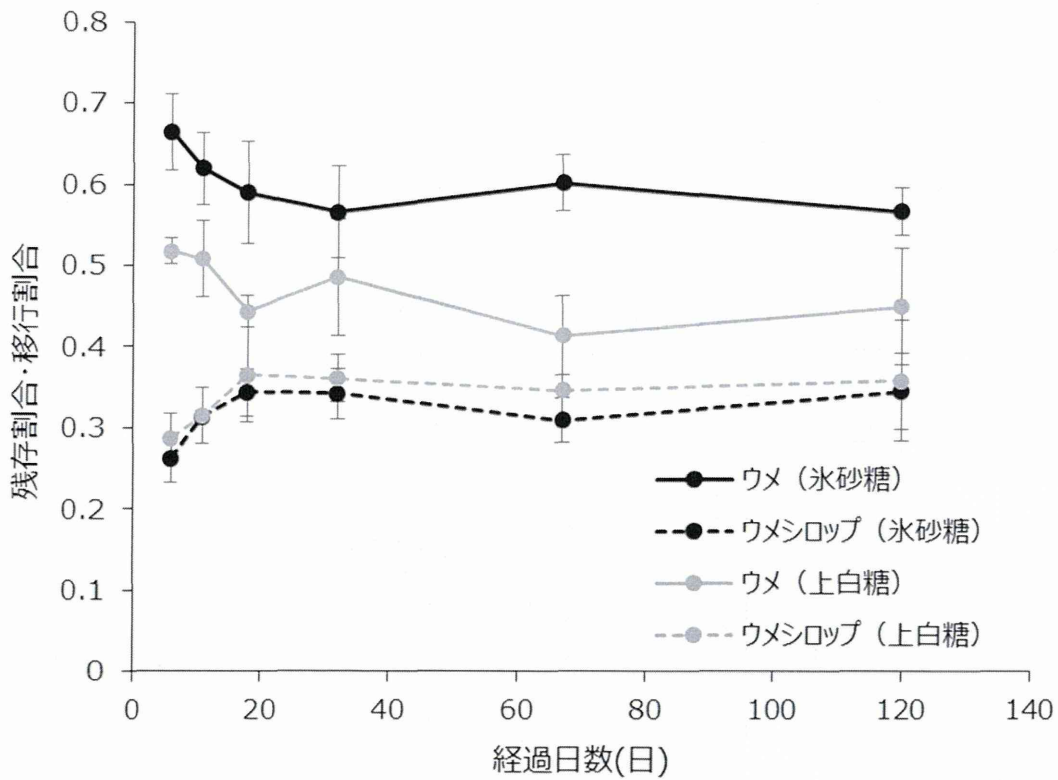


図3：ウメおよびシロップにおける放射性セシウムの残存割合および移行割合

表 1：大豆の加工による重量、放射性セシウム濃度、放射性セシウム量の変化（対洗浄後大豆）

試料	調理前（洗浄後大豆）			調理後				最終除去率 ¹⁾	
	重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1試行あたりのCs量(Bq)	重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1試行あたりのCs量(Bq)	1試料あたりの放射性Cs残存割合あるいは移行割合		
大豆(水戻し後)	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	1503 ± 25	18 ± 1.7	27 ± 2.1	0.81 ± 0.1	
戻し水(水戻し後)	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	919 ± 79	4.0 ± 0.8	3.7 ± 0.5	0.11 ± 0.02	
生呉	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	2224 ± 66	14 ± 1.5	30 ± 2.5	0.93 ± 0.08	
煮呉	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	4419 ± 258	7.0 ± 0.7	31 ± 1.4	0.92 ± 0.03	
アケ	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	236 ± 25	7.3 ± 1.1	1.7 ± 0.1	0.052 ± 0.002	
豆乳	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	2727 ± 274	7.7 ± 0.5	21 ± 3.4	0.64 ± 0.1	0.36
おから	大豆	648 ± 24	51 ± 4.6	33 ± 2.1	1038 ± 67	9.4 ± 0.3	9.8 ± 0.7	0.30 ± 0.03	0.70
豆腐	大豆	319 ± 15	51 ± 4.6	16 ± 0.7	341 ± 40	6.3 ± 0.7	2.2 ± 0.4	0.13 ± 0.03	0.87
豆腐から出た水分	大豆	319 ± 15	51 ± 4.6	16 ± 0.7	924 ± 118	6.4 ± 0.4	5.9 ± 0.4	0.36 ± 0.04	
湯葉	大豆	282 ± 12	51 ± 4.6	14 ± 0.9	181 ± 23	13 ± 1.6	2.4 ± 0.5	0.17 ± 0.02	0.83
湯葉作成後の残り豆乳	大豆	282 ± 12	51 ± 4.6	14 ± 0.9	273 ± 26	18 ± 2.3	5.0 ± 0.6	0.35 ± 0.02	

1) 最終除去率は、(1-調理後の大豆 1 試料あたりの放射性 Cs 残存率) で求めた。

表 2：大豆の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（対洗浄後大豆）

材料 調理・加工品	除去率	濃度比	重量比	残存割合 <i>Fr</i>		
	(%)	<i>Pf</i>	<i>Pe</i>	平均	最小	最大
大豆 豆乳	36	0.15	4.20	0.64	0.52	0.79
大豆 おから	70	0.19	1.61	0.30	0.28	0.33
大豆 豆腐	87	0.12	1.07	0.13	0.11	0.16
大豆 湯葉	83	0.26	0.64	0.17	0.15	0.19

表 3 : 大豆の加工による重量、放射性セシウム濃度、放射性セシウム量の変化 (対豆乳)

試料	調理前 (豆乳)			調理後				最終除去率 ¹⁾	
	重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1試行あたりのCs量(Bq)	重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1試行あたりのCs量(Bq)	1試料あたりの放射性Cs残存割合あるいは移行割合		
豆腐	豆乳	1344 ± 150	7.7 ± 0.5	10 ± 1.8	341 ± 40	6.3 ± 0.7	2.2 ± 0.4	0.21 ± 0.05	0.79
豆腐から出た水分	豆乳	1344 ± 150	7.7 ± 0.5	10 ± 1.8	924 ± 118	6.4 ± 0.4	5.9 ± 0.4	0.57 ± 0.06	
湯葉	豆乳	1184 ± 29	7.7 ± 0.5	9.1 ± 0.8	181 ± 23	13 ± 1.6	2.4 ± 0.5	0.27 ± 0.07	0.73
湯葉作成後の残り豆乳	豆乳	1184 ± 29	7.7 ± 0.5	9.1 ± 0.8	273 ± 26	18 ± 2.3	5.0 ± 0.6	0.55 ± 0.09	

1) 最終除去率は、(1-調理後の豆乳 1 試料あたりの放射性 Cs 残存率) で求めた。

表 4 : 大豆の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 (対豆乳)

材料 調理・加工品	除去率	濃度比	重量比	残存割合 Fr		
	(%)	Pf	Pe	平均	最小	最大
豆乳 豆腐	79	0.83	0.25	0.21	0.16	0.26
豆乳 湯葉	73	1.7	0.15	0.27	0.18	0.31

表5：タケノコのおく抜きによる重量、放射性セシウム濃度、放射性セシウム量の変化

試料	調理前	調理後			最終除去率 ¹⁾				
		重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1検体あたりの Cs量(Bq)		重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1検体あたりの Cs量(Bq)	1試料あたりの 放射性Cs残存割合
あく抜き (米ぬか)	タケノコ①	114 ± 14	126 ± 0	14 ± 1.8	118 ± 14	16 ± 1.8	1.9 ± 0.3	0.13 ± 0.02	0.87
あく抜き (米ぬか)	タケノコ②	156 ± 5.4	75 ± 0	12 ± 0.4	159 ± 6.9	19 ± 0.9	3.0 ± 0.3	0.25 ± 0.01	0.75
あく抜き (重曹)	タケノコ③	84 ± 4.9	202 ± 0	17 ± 1.0	86 ± 4.2	28 ± 1.8	2.4 ± 0.3	0.14 ± 0.007	0.86
あく抜き (重曹)	タケノコ④	178 ± 7.7	93 ± 0	17 ± 0.7	182 ± 8.7	28 ± 2.1	5.0 ± 0.6	0.30 ± 0.02	0.70

1) 最終除去率は、(1-調理後のタケノコ1試料あたりの放射性Cs残存率)で求めた。

表6：タケノコのおく抜きによる放射性セシウムの除去率・濃度比・重量比・残存割合

材料	除去率 (%)	濃度比 Pf	重量比 Pe	残存割合 Fr		
				平均	最小	最大
調理・加工品 タケノコ あく抜き (米ぬか)	81	0.19	1.02	0.19	0.116	0.270
調理・加工品 タケノコ あく抜き (重曹)	78	0.22	1.02	0.22	0.131	0.331

表 7：ウメの砂糖漬けによる重量、放射性セシウム濃度、放射性セシウム量の変化

	試料	調理前			経過日数 (日)	調理後				最終除去率 ¹⁾
		重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1検体あたりの Cs量(Bq)		重量(g)	Cs放射能濃度 (Bq/kg)	1検体あたりの Cs量(Bq)	1試料あたりの 放射性Cs残存割合	
砂糖漬け (氷砂糖)	ウメ	169 ± 0.4	96 ± 4.5	16 ± 0.7	6	192 ± 6.3	56 ± 4.9	11 ± 1.2	0.66 ± 0.05	0.34
砂糖漬け (氷砂糖)	ウメ				11	193 ± 6.3	52 ± 4.8	10 ± 1.2	0.62 ± 0.05	0.38
砂糖漬け (氷砂糖)	ウメ				18	194 ± 5.8	50 ± 6.4	9.6 ± 1.4	0.59 ± 0.06	0.41
砂糖漬け (氷砂糖)	ウメ				32	195 ± 7.0	47 ± 5.9	9.2 ± 1.3	0.57 ± 0.06	0.43
砂糖漬け (氷砂糖)	ウメ				67	198 ± 7.6	49 ± 3.1	9.8 ± 1.0	0.60 ± 0.04	0.40
砂糖漬け (氷砂糖)	ウメ				120	198 ± 7.6	46 ± 3.3	9.2 ± 0.9	0.57 ± 0.03	0.43
砂糖漬け (上白糖)	ウメ	169 ± 0.5	109 ± 9.0	18 ± 1.5	6	175 ± 3.9	55 ± 6.1	9.5 ± 1.0	0.52 ± 0.02	0.48
砂糖漬け (上白糖)	ウメ				11	175 ± 5.4	52 ± 4.8	9.3 ± 0.5	0.51 ± 0.05	0.49
砂糖漬け (上白糖)	ウメ				18	174 ± 5.1	47 ± 2.8	8.1 ± 0.5	0.44 ± 0.02	0.53
砂糖漬け (上白糖)	ウメ				32	174 ± 5.3	51 ± 3.1	8.9 ± 0.6	0.49 ± 0.07	0.51
砂糖漬け (上白糖)	ウメ				67	173 ± 6.1	44 ± 3.4	7.6 ± 0.8	0.41 ± 0.05	0.59
砂糖漬け (上白糖)	ウメ				120	175 ± 6.7	47 ± 5.3	8.2 ± 1.2	0.45 ± 0.07	0.55

1) 最終除去率は、(1-調理後のウメ 1 試料あたりの放射性 Cs 残存率) で求めた。

表 8 : ウメの砂糖漬けによる放射性セシウムの除去率・濃度比・重量比・残存割合

材料	経過日数	除去率	濃度比	重量比	残存割合 Fr		
					平均	最小	最大
調理・加工品	(日)	(%)	Pf	Pe			
ウメ 砂糖漬け(氷砂糖)	6	34	0.58	1.14	0.66	0.62	0.71
	11	38	0.54	1.14	0.62	0.58	0.67
	18	41	0.51	1.14	0.59	0.53	0.65
	32	43	0.49	1.15	0.57	0.51	0.63
	67	40	0.51	1.17	0.60	0.56	0.63
	120	43	0.48	1.18	0.57	0.54	0.60
ウメ 砂糖漬け(上白糖)	6	48	0.50	1.04	0.52	0.51	0.54
	11	49	0.49	1.04	0.51	0.46	0.55
	18	53	0.43	1.03	0.44	0.42	0.45
	32	51	0.47	1.03	0.49	0.36	0.45
	67	59	0.40	1.02	0.41	0.36	0.45
	120	55	0.43	1.04	0.45	0.37	0.50