

果実の加工と放射性セシウムの動態

Dynamics of radiocesium at fruit processing

生産環境部 関澤春仁 山下慎司¹ 丹治克男

¹現ハイテクプラザ会津若松技術支援センター

2011年に福島県内で収穫された果実の洗浄と加工による放射性セシウムの動態について調査した。洗浄試験の結果、事故によって拡散した放射性物質が花芽に直接付着したと考えられたウメ果実で放射性セシウム濃度が減少したが、それ以外の果実では変化はなかった。また、加工試験の結果、放射性セシウムはシロップや漬け汁などに容易に移行することから、液体を使った前処理や加工は放射性セシウムの低減に効果的であることが示された。しかし、乾燥や濃縮を伴う加工においては放射性セシウム濃度が高くなるため、原料の放射性セシウム濃度と加工後の重量変化に十分な注意が必要である。また、ジャム加工では砂糖などで原料が希釈されるため、加工後の放射性セシウム濃度は高くないことが明らかとなった。

キーワード：果実加工、放射性セシウム、加工係数

1 緒言

2011年3月11日の東日本大震災に伴って発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故は、日本国内の広範囲に放射性物質を拡散させ、農作物や土壌を汚染する深刻な事態を引き起こした。この事故に対し、福島県を始めとする各自治体では農林水産物のモニタリング検査や加工食品等の放射性物質検査を実施して、国の定める基準値を超える食品の流通を防ぐ対策が取られている^{1)~4)}。

食品には元来、放射性カリウム等の放射性物質が微量ながら含まれており、我々は一定量の放射性物質を摂取してきた。しかし、事故によって拡散した人工核種である放射性セシウムの存在は基準値以下であっても消費者に不安を与えており、食と放射能に関する正確な情報の提供が必要とされている。

食品の加工と放射性物質に関する研究は、世界各地で大気圏内核実験が行われていた1950年代後半やチェルノブイリ原子力発電所事故が発生した1986年以降に多く行われている⁵⁾が、東京電力福島第一原子力発電所の事故に関しても複数報告されている^{6)~14)}。

本報告では、東京電力福島第一原子力発電所の事故当年である2011年に収穫した果実を洗浄および加工した際の放射性セシウムの動態について報告する。

2 試験方法

(1) 原料

試験には2011年に福島県内で収穫された、ウメ（白加賀：6月収穫）、ブルーベリー（ティフブルー：7月収穫）、モモ（あかつき：8月収穫）、リンゴ（ふじ：10月収穫）、カキ（蜂屋：10月収穫）を用いた。

(2) 果実の洗浄方法

収穫した果実の表面を流水中でこするように5分間洗浄

し、洗浄後は紙タオルで十分に水気を吸い取った。

(3) 果実の加工方法

原料果実はいずれも加工前によく洗浄して用いた。

A 梅漬け

原料のウメ果実に果実重量比18%の塩を添加、適量の重しを乗せて1ヶ月間浸漬した。

B 梅酒

原料のウメ果実に、果実重量と等量の冰糖と1.8倍のホワイトリカー35°を加え、適時かくはんしながら3ヶ月間浸漬した。

C ブルーベリージャム

ジャムは濃縮度合いの異なる2種類の加工を行った。果実重量の39%のショ糖を加えて原材料総量の70%まで濃縮したものを通常ジャム、果実重量の63%のショ糖と1%のペクチンを加えて原材料総量の90%まで濃縮した低濃縮ジャムとした。

D ももジュース

除核したモモ果実を原料とし、果皮が付いた状態でジュースャーを用いて搾汁を行った。

E ももコンポート

除核したモモ果実を原料とし、熱湯でのブランチング後に原料重量と等量のシロップ（ショ糖30%（w/v）+アスコルビン酸0.3%（w/v）+クエン酸0.3%（w/v））で5分間加熱した。

F 乾燥もも

除核して剥皮したモモ果実を原料とし、シロップ（ショ糖15%（w/v）+デキストリン10%（w/v）+アスコルビン酸1%（w/v）+アスコルビン酸とフェルラ酸を含む酸化防止剤1%（w/v））を、モモ1個あたり200ml添加して18時間浸漬した後に50°Cで通風乾燥を行った。

G りんごジュース

果皮と果梗が付いた状態のりんご果実を原料とし、ジュースャーを用いて搾汁を行った。

H りんご甘煮

剥皮したりんご果実を原料とし、原料重量の30%のショ糖を加えて15分間加熱した。

I りんごコンポート

剥皮したりんご果実を原料とし、シロップ(ショ糖30%(w/v))を原料重量と等量加えて5分間加熱した。

J あんぽ柿

剥皮したカキ果実を原料とし、乾燥機を用いて乾燥した。

(4) 放射性物質の測定方法

固体のサンプルはミキサーで破碎し、液体の場合はそのままU8容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメータ(CANBERRA, GC3020-75200SL-2001CSL)で ^{134}Cs と ^{137}Cs の濃度を測定した。測定時間は3600~36000秒間行い、測定値は有効数字3桁で表記した。

また、原料果実の重量に対する加工品の重量の割合を「重量比(Pe:processing efficiency)」として、原料果実の放射性セシウム濃度に対する洗浄後および加工品の放射性セシウム濃度の割合を「加工係数(Pf:processing factor)」として算出した。

3 試験結果**(1) 果実の洗浄**

各果実の洗浄前後の放射性セシウム濃度および加工係数を表1に示した。

洗浄後の加工係数は、ウメでは0.53となり、明らかに低下した。一方、ブルーベリーでは1.00と変わらず、モモとりんごにおいてはそれぞれ0.90と0.91であったが、これは放射性セシウム測定時の計数誤差の範囲内であり、洗浄前との差は確認されなかった。

(2) 果実の加工

各果実の加工後の放射性セシウム濃度および重量比と加工係数を表2に示した。各加工品の結果は以下のとおりである。

A 梅漬け

梅漬けの加工係数は1.06となったが、これは放射性セシウム濃度測定時の計数誤差の範囲内であり、加工前後で同程度の濃度であった。梅漬け加工の場合、原料の放射性セシウムは果汁と共に漬け汁として果実外へと滲出するが、果実自体も重量比が0.72と縮小することから、果実に残った放射性セシウムは濃縮され、加工前後の濃度に大きな変化は無かった。

梅漬け加工では、加工後の梅漬けの放射性セシウム濃度が原料よりも大幅に高くなることは無いと考えられる。

B 梅酒

梅酒の加工係数は0.21となり、原料の放射性セシウムがホワイトリカーへと移行したことが確認された。本研究の

梅酒のウメ果実に対する重量比は3.23であるが、原料であるホワイトリカーや氷糖の割合などによって重量比は変化し、それに伴い加工係数も変化すると考えられる。一方、梅酒浸漬後の果実の加工係数は0.46、重量比は0.56となり、梅酒浸漬後の果実の放射性セシウム濃度が原料濃度を超えることは無いと考えられる。

C ブルーベリージャム

ブルーベリージャムにおいては、通常ジャムの加工係数は0.89、低濃縮ジャムでは0.65となった。一方、重量比では通常ジャムが0.97、低濃縮ジャムが1.48となり、加工後のジャムの質量は原料と同程度か、それよりも大きくなっていった。

ジャム加工は加熱濃縮を伴う加工方法であるため、放射性セシウムも濃縮されると思われるが、原料果実の放射性セシウムはショ糖などによって希釈されることから、通常の加工を行った場合、放射性セシウム濃度は原料よりも大幅に高くなることはほとんど無いと考えられる。

D ももジュース

ももジュースの加工係数0.92、搾汁残さは1.07となったが、いずれも放射性セシウム濃度測定時の計数誤差の範囲内であり、ももジュースの放射性セシウム濃度は原料のと同程度であることが示された。

E ももコンポート

ももコンポートの加工係数は0.54、シロップの加工係数は0.42となり、いずれも放射性セシウム濃度はおおむね原料1/2となった。加工時のシロップ量は原料質量と等量であるため、加工中に原料の放射性セシウムはシロップへ移行し、濃度は平衡に近い状態になったと考えられた。このことから、加工時のシロップ量を増やすとコンポートの放射性セシウム濃度はさらに下がると考えられる。

F 乾燥もも

乾燥ももの加工係数は3.79となり、乾燥加工によって放射性セシウムが濃縮していることが確認された。ただ、加工の際に前処理を行ったシロップから放射性セシウムが検出されており、一定量の放射性セシウムは前処理時に果実外へ流出していたことも明らかとなっている。前処理無しで乾燥した場合の放射性セシウム濃度の理論値を重量比0.13から算出すると、261 Bq/kg、加工係数は7.68となるが、実測値は129 Bq/kgであった。このことから、前処理によって約1/2の放射性セシウムはシロップ中に流出したと考えられた。

G りんごジュース

りんごジュースの加工係数0.92、搾汁残さは1.15となり、搾汁残さでやや高い傾向があったが、いずれも放射性セシウム濃度測定時の計数誤差の範囲内であり、りんごジュースの放射性セシウム濃度は原料と大きく変わらないことが示された。

H りんご甘煮

りんご甘煮の加工係数は1.02、重量比は0.97となり、いずれも原料とほぼ同じ値であった。重量比がほとんど変化していないことから、添加したショ糖とほぼ等量の水分が

表1 果実の洗浄と放射性セシウム濃度

果実名		$^{134}\text{Cs}^{1)}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}^{1)}$ (Bq/kg)	$^{134+137}\text{Cs}^{1)}$ (Bq/kg)	加工係数 Pf
ウメ	洗浄前	153 ± 31	164 ± 32	314 ± 55	-
	洗浄後	83.0 ± 11	82.3 ± 8.5	165 ± 16	0.53
ブルーベリー	洗浄前	38.2 ± 4.2	42.2 ± 3.9	80.4 ± 5.7	-
	洗浄後	38.0 ± 3.8	42.1 ± 3.5	80.1 ± 5.2	1.00
モモ	洗浄前	12.2 ± 1.8	11.1 ± 3.3	23.3 ± 3.8	-
	洗浄後	12.3 ± 1.7	8.64 ± 2.0	20.9 ± 2.6	0.90 ²⁾
リンゴ	洗浄前	28.1 ± 2.0	40.3 ± 3.2	68.4 ± 3.8	-
	洗浄後	31.3 ± 2.1	31.1 ± 2.7	62.4 ± 3.4	0.91 ²⁾

1) 土について、ウメは標準偏差 (n=3)、モモ、ブルーベリー、リンゴは測定時の計数誤差。

2) 原料とは係数誤差の範囲内である。

表2 果実の加工と放射性セシウム濃度

加工品	サンプル	重量比 Pe	$^{134}\text{Cs}^{1)}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}^{1)}$ (Bq/kg)	$^{134+137}\text{Cs}^{1)}$ (Bq/kg)	加工係数 Pf
ウメ漬	原料	-	44.8 ± 5.0	56.4 ± 4.8	101 ± 6.9	-
	ウメ漬	0.72	47.2 ± 4.1	60.1 ± 4.1	107 ± 5.8	1.06 ²⁾
	漬け汁	0.44	25.9 ± 3.5	34.8 ± 3.3	60.7 ± 4.8	0.60
ウメ酒	原料	-	26.1 ± 2.9	39.6 ± 3.0	65.7 ± 4.2	-
	ウメ酒	3.25	7.41 ± 2.1	6.45 ± 1.6	13.9 ± 2.6	0.21
	浸漬ウメ	0.56	15.4 ± 4.0	14.8 ± 3.4	30.2 ± 5.2	0.46
ブルーベリージャム	原料	-	22.9 ± 2.1	26.8 ± 3.0	49.7 ± 3.7	-
	通常ジャム	0.97	21.8 ± 1.9	22.4 ± 2.5	44.2 ± 3.1	0.89 ²⁾
	低濃縮ジャム	1.48	14.1 ± 1.6	18.2 ± 2.5	32.3 ± 4.7	0.65
モモジュース	原料	-	12.9 ± 2.6	10.2 ± 2.6	23.1 ± 3.7	-
	果汁	0.66	9.14 ± 2.4	12.1 ± 2.4	21.2 ± 3.4	0.92 ²⁾
	搾汁残さ	0.44	11.8 ± 2.7	12.9 ± 2.8	24.7 ± 3.9	1.07 ²⁾
モモコンポート	原料	-	8.42 ± 0.8	9.31 ± 0.7	17.7 ± 1.1	-
	コンポート	0.86	3.88 ± 0.6	5.63 ± 0.6	9.51 ± 0.8	0.54
	シロップ	0.88	3.02 ± 0.7	4.39 ± 0.6	7.41 ± 0.9	0.42
乾燥モモ	原料	-	14.0 ± 2.4	20.0 ± 2.2	34.0 ± 3.3	-
	乾燥モモ	0.13	59.0 ± 3.9	70.0 ± 3.8	129 ± 5.4	3.79
	前処理シロップ	-	1.90 ± -	2.30 ± -	4.20 ± -	-
リンゴジュース	原料	-	31.0 ± 2.2	37.7 ± 3.1	68.7 ± 3.8	-
	果汁	0.72	27.4 ± 1.9	35.5 ± 3.0	62.9 ± 3.6	0.92 ²⁾
	搾汁残さ	0.28	36.1 ± 2.0	43.2 ± 3.0	79.3 ± 3.6	1.15 ²⁾
リンゴ甘煮	原料	-	21.0 ± 1.7	26.4 ± 2.6	47.4 ± 3.1	-
	砂糖煮	0.97	25.2 ± 1.9	23.2 ± 2.5	48.4 ± 3.1	1.02 ²⁾
リンゴコンポート	原料	-	24.1 ± 2.0	27.8 ± 2.9	51.9 ± 3.5	-
	コンポート	1.05	9.90 ± 1.5	12.8 ± 2.0	22.7 ± 2.5	0.44
	シロップ	0.79	10.8 ± 1.6	13.3 ± 2.3	24.1 ± 2.8	0.46
あんぼ柿	原料 ³⁾	-	49.2	60.1	109	-
	あんぼ柿 ³⁾	0.29	151	191.0	342	3.14

1) 土について、ウメは標準偏差 (n=3)、モモ、ブルーベリー、リンゴは測定時の計数誤差。

2) 原料とは係数誤差の範囲内である。

3) 原料が異なる10検体の平均値であるため、標準偏差や標準誤差は示さなかった。

加熱によって蒸発したと考えられた。

甘煮加工においてはショ糖の添加量や加熱の度合いによって加工係数が変化するが、通常の甘煮加工においては原料の放射性セシウム濃度が原料よりも大幅に高くなることは無いと考えられる。

I りんごコンポート

りんごコンポートの加工係数は0.44、シロップの加工係数は0.46となり、いずれも放射性セシウム濃度はおおむね

原料の1/2となった。加工時のシロップ量は原料質量と等量であるため、加工中に原料の放射性セシウムはシロップへ移行し、濃度は平衡に近い状態になったと考えられる。

コンポート加工においては、モモでも同じ結果が得られており、放射性セシウムをシロップに流出させることができるコンポートのような加工方法は、放射性セシウムの低減するために有効な加工方法であると考えられる。

J あんぽ柿

あんぽ柿の加工係数は3.14、重量比は0.29となり、乾燥によって果実の放射性セシウムが濃縮されることが確認された。

あんぽ柿の加工方法は、原料を剥皮して硫黄燻蒸を行い、乾燥させるものである。ここでは硫黄燻蒸を行っていないが、これらの行程で放射性セシウムが外部へ移行することは無く、加工後のあんぽ柿の放射性セシウム濃度は原料果実の濃度と乾燥度合いによって決まると考えられる。よって、あんぽ柿加工においては放射性セシウム濃度が低い原料果実を使うことが最も重要である。

4 考察

果実の洗浄試験の結果、ウメにおいては放射性物質が降下した2011年3月中旬はちょうど開花時期であったことから、後に果実となる子房の表面へ放射性物質が直接付着しており、洗浄によって果実表面に付着した放射性セシウムが除去されたと考えられた。しかし、果実内部に含まれる放射性セシウムは洗浄では除去できないため、加工係数は0.53以下には下がらなかったと考えられる。

一方、ブルーベリーやモモ、リンゴは放射性降下物が直接果実に付着していないため、洗浄前後の放射性セシウム濃度に差は無く、検出された放射性セシウムは全て果実内部に含まれているものと考えられる。

果実の加工試験の結果、果実加工時の放射性セシウムの挙動については加工時の副原料や加水による希釈、乾燥までの水分減少による濃縮、剥皮等による分離、果汁の滲出等による流出が基本的な動きであり、加工によって放射性セシウムが消失することは無いが、果実以外の材料の添加や加工による質量変化によって放射性セシウム濃度は変化することが確認された。

また、加工後の果実の放射性セシウムを低減するためには、水やシロップなどを用いて果実外へ放射性セシウムを流出させる方法が効果的であることが明らかとなった。

一方、乾燥加工品については、水分が除去されて原料が濃縮されるとともに放射性物質の濃度が高くなることから、乾燥加工を行う際には今後も継続的に確認が必要であると考えられる。

- Kawamoto, S. 2012 Dynamics of Radioactive Cesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) during the Milling of Contaminated Japanese Wheat Cultivars and during the Cooking of Udon Noodles Made from Wheat Flour. *Journal of Food Protection* 75: 1823-1828.
- 4) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター. 2013. 環境パラメータ・シリーズ4増補版食品の調理・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-
 - 5) 厚生労働省. 2011. 「放射能汚染された食品の取り扱いについて」. 食安発 0137 第3号.
 - 6) 厚生労働省. 2012. 「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令の一部を改正する省令, 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令別表の二の(一)の(1)の規定に基づき厚生労働大臣が定める放射性物質を定める件及び食品, 添加物等の規格基準の一部を改正する件について」. 食安発 0315 第1号.
 - 7) 厚生労働省. 2012. 「食品中の放射性物質の試験法について」. 食安発 0315 第4号.
 - 8) 文部科学省. 2002. 放射能測定シリーズNo.15「緊急時における放射性ヨウ素測定法」(平成14年改訂版).
 - 9) 関澤春仁・山下慎司・丹治克男・大越 聡・吉岡邦雄. 2013. リンゴジュースに含まれる放射性セシウムのゼオライトによる低減. *日本食品科学工学会誌* 60: 212-217.
 - 10) 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: 718-722.
 - 11) Tagami, K., Uchida, S. 2013. Comparison of food processing retention factors of ^{137}Cs and ^{40}K in vegetables. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 295: 1627-1634.
 - 12) 等々力節子・亀谷宏美・内藤成弘・木村啓太郎・根井大介・萩原昌司・柿原芳輝・美濃部彩子・篠田有希・水野亮子・松倉 潮・川本伸一. 2013. 麦原料から麦茶浸出液への放射性セシウムの移行率. *日本食品科学工学会誌* 60: 19-22.
 - 13) Uchida, S. and Tagami, K. 2013. Removal of radiocesium from food by processing: data collected after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Waste Management Conference 24-28 Feb, 2013, Arizona, U.S.A
 - 14) 財団法人原子力環境整備センター. 1994. 環境パラメータシリーズ4食品の調理・加工による放射性核種の除去率.

引用文献

- 1) 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). *Journal of Food Protection*. 76: 1021-1026.
- 2) 八戸真弓・内藤成弘・佐々木朋子・明石 肇・等々力節子・松倉 潮・川本伸一・濱松潮香. 2013. 中華麺の調理行程における放射性セシウムの動態解析. *日本食品科学工学会誌* 60: 54-57.
- 3) Kimura, K., Kameya, H., Nei, D., Kakihara, Y., Hagiwara, S., Okadome, H., Tanji, K., Todoriki, S., Matsukawa, U. and