

$$n_3 = \frac{9}{2t} + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{9}{t^2} + \frac{8n_{b3}}{t}} \quad \text{式 11}$$

$$n_{10} = \frac{100}{2t} + \frac{10}{2} \sqrt{\frac{100}{t^2} + \frac{8n_{b10}}{t}} \quad \text{式 12}$$

3σ を与える濃度を C_3 、10σ を与える濃度を C_{10} とすると、式 1 から放射能濃度と計数率 N/t は比例関係にあることから C_{10} の C_3 に対する比は以下のようになる。

$$\frac{C_{10}}{C_3} = \frac{n_{10}}{n_3} = \frac{\frac{100}{2t} + \frac{10}{2} \sqrt{\frac{100}{t^2} + \frac{8n_{b10}}{t}}}{\frac{9}{2t} + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{9}{t^2} + \frac{8n_{b3}}{t}}} \quad \text{式 13}$$

n_b がとる値はゼロ以上である。そこで、① n_{b3} 、 n_{b10} がともにゼロの場合と、② n_{b3} 、 n_{b10} がともに $\frac{100}{2t}$ 及び $\frac{100}{t^2}$ に比べて非常に大きく、ほぼ同じ大きさの場合の 2 通りを考える。

① $n_{b3} = n_{b10} = 0$ の場合

式 10 は以下のようになる。

$$\frac{C_{10}}{C_3} = \frac{n_{10}}{n_3} = \frac{\frac{100}{2t} + \frac{10}{2} \sqrt{\frac{100}{t^2}}}{\frac{9}{2t} + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{9}{t^2}}} = \frac{200}{18} = 11.1 \quad \text{式 14}$$

② $n_{b3} \approx n_{b10} \gg \frac{100}{t}$ の場合

式 10 は以下のようになる。

$$\frac{C_{10}}{C_3} = \frac{n_{10}}{n_3} \approx \frac{10 \sqrt{8n_{b10}}}{3 \sqrt{8n_{b3}}} \approx \frac{10}{3} = 3.3 \quad \text{式 15}$$

これらのことは、測定ピークの強度のみが異なりバックグラウンド計数率が同じような系列 ($n_{b3} \approx n_{b10}$) の試料の放射能測定において、10σ と 3σ を与える濃度の比は、3.3 から 11.1 倍の間の値をとることを示している。①の場合は、試料濃度に依存して計数誤差の標準偏差の変動が最も大きい場合である。逆に②の場合は、バックグラウンド計数率が非常に大きく、近似的に試料濃度に依存せずに、ほぼ計数誤差の標準偏差が一定となる場合である。実際の測定ではこの 2 つの場合の間の値をとる。②の場合は、前述した HPLC 測定における定量下限 10σ の検出限界 3σ に対する比 3.3 と同じになる。

高感度測定を行う場合には、例えば 3σ を与える式 11 から明らかのように、 n_3 を小さくするために測定時間を長くし、 n_b を小さくすることになる。よって、高感度測定ほど①の場合に近づき、計数誤差の標準偏差の変動が測定核種濃度に依存して大きくなる。

ここで試算したものは、 n_{b3} と n_{b10} が近似している試料系列条件であり、個々の測定ごとに著しく異なる値を取る場合には、これらの比率はあてはまらない。

我が国における食品中放射能検査は、福島第一原子力発電所事故以前は一部の輸入食品のみが検査対象であったため、

経験者が非常に少ない状態であった。一方、HPLC 測定は検査、測定機関において汎用的手法であることから、精通者が多数存在していた。両測定において、検出限界の定義は一見同じ標準偏差 σ を用いることから、HPLC 測定における測定値の標準偏差と放射能測定における計数誤差の標準偏差を混同し、放射能測定に HPLC 測定の手法をそのまま持ち込む測定者も散見される。つまり、HPLC 測定のノイズ・レベルによって測定の標準偏差の算出すること、その標準偏差を試料の標準偏差に流用すること、及び測定の検出限界 3σ を与える濃度の 3.3 倍をもって定量限界 10σ の濃度とすることなどである。これらがいずれも誤用であることは前述した通りである。

4) 計数誤差による標準偏差と検査の精度について

放射能測定における計数誤差の標準偏差は、試料濃度に依存して増加するため、検出限界 3σ の値をもって、高濃度試料の測定の標準偏差として用いた場合は、標準偏差を低く見積もることになり、測定の精度を実際よりも高く算出することになる。検査法通知には基準値付近の判定において精度が規定されており、「放射性セシウム濃度 X が基準値の 75% から 125% の範囲となった場合には、 $X/\sigma X$ が 10 以上であることを確認する」とある。

なお、検査法通知における記号は以下の通りである。

X134 : Cs-134 の測定結果 (Bq/kg)

X137 : Cs-137 の測定結果 (Bq/kg)

X:放射性セシウム濃度 (X134+X137) (Bq/kg)

σ_{134} : X134 に伴う計数誤差による標準偏差

σ_{137} : X137 に伴う計数誤差による標準偏差

σX : X に伴う計数誤差による標準偏差

$$\sigma X = \sqrt{\sigma_{134}^2 + \sigma_{137}^2}$$

推定値

この検査法に書かれている作業において、誤って過小評価した標準偏差 σX を用いることは、 $X/\sigma X$ を過大評価することになり、検査の精度不足を生じさせる可能性があるため、検査の信頼性確保において問題となる。例えば、最も極端なバックグラウンドがゼロの場合を考えると、 3σ を与える濃度の 3.3 倍では 5.5σ となる。HPLC 測定と同じ 10σ (相対標準偏差 10%) を期待していても 5.5σ (相対標準偏差 18%) に過ぎず、 10σ とするにはさらに 3.3 倍の計数値を必要とする。

なお、放射能測定では、検出限界以上の濃度であれば、その計数誤差の標準偏差を併記して数値化するのが慣例であると前述したが、現在の食品中放射能検査結果は、測定値から算出された濃度のみが報告されており、計数誤差の標準偏差は併記していない。それは、上記のように、基準値の 75% から 125% の範囲において測定の精度の下限が明記されているからである。それ以外の範囲では、検査法要求項目である検出限界の測定条件が守られていれば判定結果に影響を及ぼさないため、追加の確認要求項目は示されていないと考えられる。

D. 結論

検査の分析値には一定の品質が要求され、分析値の品質保証においては、不確かさの推定値がパラメータとして一般に用いられる。食品衛生法に基づく食品中放射能検査では、計数の統計による不確かさ（計数誤差）のみが記載され、それによって評価することとされているが、食品検査にはこれ以外にも多くの要因があり、その中には放射能測定特有の要因も含まれる。本年度は不確かさの要因の評価及び合成について検討を行った。また、現行の食品中放射能検査の精度において重要なパラメータであり、放射能測定に特異な事項である計数誤差の標準偏差について、HPLC に代表される一般科学機器分析と比較して検討を行った。その結果、不確かさの合成においては、試料計数値及びピーク効率に起因する不確かさの寄与が大きいと予想され、特に試料計数値の計数誤差が支配的であることを示した。また、放射能測定における計数誤差の標準偏差と、一般的な科学機器分析の測定のばらつきの標準偏差を混同し、検出限界における標準偏差を高濃度側で用いた場合は、精度の低下を招くことを示した。

検出限界の検討においては放射能分析と一般化学分析の違いを強調したが、主要因となるばらつきの標準偏差の由来が異なるだけで、基本的な考え方は同じである。放射能検査においても、他の検査と同様に、全操作の不確かさを推定評価すること、そして各操作及び要因の不確かさが最終結果に与える影響の程度を理

解していることが、分析値の品質を保証する上で重要と考えられる。

E. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 蜂須賀暁子、植草義徳、鍋師裕美、堤智昭、松田りえ子、最上知子：放射能測定における不確かさ—試料形状、第 51 回全国衛生化学技術協議会年会 (2014.11)

3. 単行本

- 1) 松田りえ子、蜂須賀暁子：放射性物質測定値の統計学的特徴と食品中のセシウム検査. 公益社団法人日本食品衛生協会 (2014)

F. 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

表1 Ge半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーにおける測定結果の不確かさの推定評価値

不確かさの要因		想定値	相対標準不確かさ	相対合成標準不確かさ	備考
正味計数値に伴う不確かさ	ピーク計数面積に伴う不確かさ		約 5-10%	5.5-11.0%	検査法では基準値の75%から125%の範囲で相対標準不確かさ10%以下を要求しているため
	ジオメトリーに起因する不確かさ	試料高さ $\pm 1\text{mm}$	約 1-2%		25年度の報告書参照
	試料の均質性に起因する不確かさ		約 1-2%		試料によって変動する。ここではジオメトリーと同程度と仮定する。
ピーク効率に伴う不確かさ	標準体積線源の放射能の不確かさ	市販標準物質	約 2-3%	3.6-5.5%	校正証明書による。
	ピーク計数面積に伴う不確かさ	10000 カウント	約 1%		
	ジオメトリーに起因する不確かさ	試料高さ $\pm 1\text{mm}$	約 1-2%		25年度の報告書参照
	ピーク効率曲線のフィッティングに伴う不確かさ	多核種標準体積線源によるフィッティング	約 2%		測定物質でピーク効率を算定する場合は考慮しない。
相対合成標準不確かさ				6.6-12.2%	
相対拡張不確かさ (k=2)				13.1-24.5%	

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 26 年度厚生労働科学研究費補助金 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（牛肉、ブルーベリー、ナツハゼ、シイタケ、タラノメ、コシアブラ、ワラビ、ゼンマイ）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、牛肉の乾燥（乾燥前に調味液への浸漬がない場合）やブルーベリーの乾燥、ブルーベリーおよびナツハゼを用いたジャムの作製、シイタケの焼き調理、タラノメおよびコシアブラのてんぷら調理では、放射性セシウムはほとんど除去されなかった。一方で、調味液へ浸漬した牛肉を乾燥させた場合には、調味液浸漬の過程で放射性セシウムが除去され、牛肉中の残存割合が 0.1 となった。また、ワラビやゼンマイのあく抜きでは、植物組織の軟化を促進する重曹を用いてゆで、水中に長時間さらすという方法を用いた場合、その過程で多くの放射性セシウムが除去され、ワラビおよびゼンマイ中の残存割合がそれぞれ 0.08 および 0.19 となった。本研究の結果、調味液への浸漬やゆでこぼし、水さらしなどの工程を経ることで効率的に放射性セシウムが除去できることが示された。また、重曹など適切な添加物を用いることで、放射性セシウムの除去が促進される可能性が考えられた。一方、乾燥などの加工では試料あたりの放射性セシウム総量に変化はないものの、放射性セシウム濃度は上昇する。そのため、基準値未満の原材料を用いた場合でも加工後の食品が基準値違反となる可能性が生じることに注意が必要であると考えられた。

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/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きている。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（牛肉、タラノメ、コシアブラ、ワラビ、ゼンマイ、シイタケ、ブルーベリーなど）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、乾燥調理後の食品試料については、

「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加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. 牛肉の乾燥（ビーフジャーキーの作製）

一般的なビーフジャーキーの調理では、牛肉を調味液に浸漬し、味をつけてから乾燥を行なう。本検討では、調味の効果を確認する目的で、調味液に浸漬せず乾燥のみを行う検討および調味液の塩分濃度を変えた検討も実施した。牛肉は、ブロック肉から大きな脂肪の塊を除去し、厚さ 0.3～0.5 mm、縦 2～4 cm、横 7～10 cm の大きさに切り出した。試行間で切り出した牛肉の大きさに偏りがないように注意しつつ、U8 容器（90 mL）に空隙なく充填し、重量測定後、放射性セシウム濃度を測定した。測定後、U8 容器から牛肉を取り出し、①調味なし、②調味液 1（塩分濃度 10%）、③調味液 2（塩分濃度 20%）の前処理を実施した。調理の様子を図 1 に示した。各検討の前処理方法は以下の通りである。

- ① 調味なし:余分な肉汁をペーパータオルで軽くふき取った。
- ② 調味液(塩分濃度 10%) :表 1 に記載の調味液組成表に従い調製した塩 10%、砂糖 3.5%を含む調味液 1 をジッパー付きストックバックに 50 g 入れ、牛肉を重ならないように広げて入れた後、冷蔵庫で 24 時間浸漬した。浸漬終了後、牛肉と調味液 1 を分離し、調味液 1 は U8 容器に移し、重量を測定後、放射性セシウム濃度の測定を行った。牛肉は、調理前重量の 2 倍量の水に 1 時間浸漬し、塩抜きを行った。水を換えて塩抜きを 3 回繰り返した。塩抜きに用いた水は、交換のたびに回収し、3 回分の水をまとめて重量を測定後、放射性セシウム濃度の測定を行った。塩抜き後の牛肉は、余分な水分をペーパータオルで軽くふき取った。
- ③ 調味液(塩分濃度 20%) :表 1 に記載の調味液組成表に従い調製した塩 20%、砂糖 3.5%を含む調味液 2 を用いて、②調味液 1 と同様に、牛肉を調味液に浸漬後、塩抜きを行なった。また、浸漬後の調味液 2 および塩抜き後の水を回収し、同様に放射性セシウム濃度の測定を行った。

前処理を行った各試料は、家庭用食品乾燥機(プチャマレンギ;東明テック株式会社)に重ならないように広げ、70℃で 15 時間乾燥させた。乾燥後の重量測定後、牛肉は細切し、U8 容器に充填後、放射性セシウム濃度を測定した。すべての検討は 3 併行で実施した。

2-2. ブルーベリーの乾燥(ドライブルーベリーの作製)

ブルーベリーは冷凍保存してあったため、解凍後、ドリップを除去してから 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。測定後のブルーベリーを容器

から取り出し、測定中に溶出したドリップを再度除去してから、家庭用食品乾燥機に重ならないように広げ、65℃で 15 時間乾燥させた。調理方法は表 2 にまとめた。乾燥後の重量を測定後、U8 容器に充填し、放射性セシウム濃度を測定した。なお、調理前重量はドリップ除去後の重量とし、調理前の 1 試行あたりの放射性セシウム量を算出した。調理は 3 併行で実施した。

2-3. ブルーベリージャムの作製

ブルーベリーは冷凍保存品のため、解凍後 PP200 容器 (200 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。測定後のブルーベリーを鍋に移し、約 180 g のブルーベリーに対し、水 20 g (果実重量の 10%) を加えて中火で加熱し、沸騰してきたら砂糖 40 g (果実重量の 20%) を入れて静かに混ぜながら約 5 分間煮た。砂糖 60 g (果実重量の 30%) を追加した後、全量が 200 g 程度になるまで煮詰め、最後にレモン果汁 10 g を加え、ひと煮立ちさせた。調理方法は表 3 にまとめた。調理後のジャムは重量後、U8 容器に充填して放射性セシウム濃度を測定した。調理は 3 併行で実施した。

2-4. ナツハゼジャムの作製

ナツハゼは冷凍保存してあったため、解凍後、U8 容器に充填後、重量測定し、放射性セシウム濃度を測定した。測定後のナツハゼを鍋に移し、約 70 g のナツハゼに対し、水 7 g (果実重量の 10%) を加えて中火で加熱した。沸騰してきたら砂糖 14 g (果実重量の 20%) を入れて静かに混ぜながら約 5 分間煮た。砂糖 21 g (果実重量の 30%) を追加した後、全量が 70 g 程度になるまで煮詰めた。調理方法は表 4 にまとめた。調理後のジャムは重量後、U8 容器に充填して放射性セシウム濃度を測定した。調理は 3 併行で実施した。

2-5. 焼きシイタケの作製

シイタケは、表面の汚れを軽く落とした後、形を保ったまま、V300 容器 (300 mL) に充填し、重量測定後、放射性セシウム濃度を測定した。容器からシイタケを取り出し、軸と傘に分けた後、両方をアルミホイルが敷かれたフライパンに並べ、蓋をして中火で 5 分間蒸し焼きにした。調理方法は表 5 にまとめた。調理後のシイタケは、重量測定後、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 3 併行で実施した。

2-6. タラノメのてんぷらの作製

タラノメは PP200 容器にそのままの形を保ったまま充填し、重量測定後、放射性セシウム濃度の測定を行った。測定後のタラノメを取り出し、小麦粉と水を 1:2 で混合した衣をつけて、160℃に熱したサラダ油で 2~3 分間揚げた。調理方法は表 6 にまとめた。調理後のタラノメは衣ごと重量を測定し、細切した後、U8 容器に充填して放射性セシウム濃度を測定した。調理は 3 併行で実施した。

2-7. コシアブラのてんぷらの作製

コシアブラを U8 容器にそのままの形を保ったまま充填し、重量測定後、放射性セシウム濃度の測定を行った。調理方法は表 7 にまとめた。測定後のコシアブラは、タラノメと同様に小麦粉と水を 1:2 で混合した衣をつけて、160℃に熱したサラダ油で 2~3 分間揚げた。調理後のコシアブラは衣ごと重量を測定し、細切した後、U8 容器に充填して放射性セシウム濃度を測定した。試料量が少なかったため、調理は 2 併行で実施した。

2-8. ワラビのあく抜き

ワラビは水洗し、水気をふき取り、切断などはせずに、そのままの形で V300 容器に

充填した。重量測定後、調理前の放射性セシウム濃度を測定した。あく抜きは、古典的な方法である①重曹を使った方法と簡易的な方法として紹介されている②小麦粉と塩を使った方法を用いて検討した。各あく抜き方法を表 8 に示した。詳細は下記の通りである。

① 重曹を用いたあく抜き：1000 g の水を沸騰させ、2.5 g の重曹を加えた後、V300 容器から取り出したワラビを入れてよくかき混ぜる。再沸騰後 30 秒で火を止め、ゆで汁ごと容器に移し、冷めるまで約 5 時間放置した。水 1000 g を入れた容器にワラビを移し、4℃で約 18 時間放置した。

② 小麦粉を用いたあく抜き：1000 g の水に小麦粉 36 g と塩 8 g を加え、火にかけて。沸騰したら V300 容器から取り出したワラビを加え、弱火で 3 分間ゆでた。水 1000 g が入った容器にワラビをとり、10 分間放置した。

あく抜き後のワラビは、水気を軽く取って重量測定し、細かく刻んだ後、U8 容器に充填して放射性セシウム濃度の測定を行った。各調理は 3 併行で実施した。

2-9. ゼンマイのあく抜き

ゼンマイは穂先の綿状のものを取り除いた後、軽く水洗し、水気をふき取ってから V300 容器にそのままの形で充填した。重量測定後、調理前の放射性セシウム濃度を測定した。あく抜きは、ワラビ同様①重曹を使った方法と②小麦粉と塩を使った方法を用いて検討した。各あく抜き方法は表 9 に示したが、ワラビと同様の方法で行った。あく抜き後のゼンマイは、水気を軽く取って重量測定し、細かく刻んだ後、U8 容器に充填して放射性セシウム濃度の測定を行った。各調理は 3 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 F_r 、重量比 P_e 、濃度比 P_f 、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 F_r = 調理・加工品中の放射性セシウム総量 (Bq) / 材料中の放射性セシウム総量 (Bq)

重量比 P_e = 調理・加工後の重量 (g) / 材料の重量 (g)

濃度比 P_f = 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)

除去率 (%) = $(1 - F_r) \times 100$

C. 結果及び考察

1. 牛肉の乾燥(ビーフジャーキー)

牛肉の乾燥によりビーフジャーキーを製した際の調理前後に測定した重量、放射性セシウム濃度、1 試行あたりの放射性セシウム放射能などの情報を表 10 に示した。また、これらの値を用いて算出した残存割合 F_r 、重量比 P_e 、濃度比 P_f 、除去率 (%) を表 11 に示した。

調味液に浸漬せずにそのまま乾燥させた場合では、主に水分の蒸発により牛肉重量は 97 g から 35 g に減少し、重量比 P_e は 0.37 となった。牛肉中の放射性セシウム濃度は、約 600 Bq/kg から約 1600 Bq/kg に増加しており、濃度比 P_f は 2.64 となった。牛肉中への残存割合 F_r は 0.97、除去率は 3% であり、牛肉をそのまま乾燥させただけでは、放射性セシウムは除去されず、牛肉中の水分除去に伴って濃縮される結果となった。一方で、調味目的で調味液に浸漬した後、塩抜き(水洗)を行ってから乾燥させると、塩分濃度 10% の調味液を使用した場合で重量比 0.32、濃度比 0.34、残存割合

0.11、除去率 89% となった。重量比は、調味なしの場合とほぼ同等の値となっており、両者の水分含量は同程度と考えられるが、濃度比は 0.34 と調理前の牛肉の濃度の 35% 程度に低下していた。放射性セシウムの調味液への移行量は 14% であり、これは以前我々が報告した牛肉の調味液(10%食塩水)への浸漬の結果(24 時間浸漬後の調味液への移行量: 22%)⁵⁾に近い値であった。さらに、調味液浸漬後の塩抜きの過程で、洗浄水中に 72% の放射性セシウムが移行しており、この調理過程が牛肉中の放射性セシウムの除去に大きく寄与していた(図 2、3)。塩分濃度と放射性セシウム除去効率の関係を明らかにする目的で、塩分濃度を 20% とした調味液で、同様の検討を実施したが、浸漬後の調味液への放射性セシウム移行量は 18% となり、塩分濃度 10% の調味液とほとんど差はなかった(図 2、3)。

牛肉の乾燥では、単に牛肉をそのまま乾燥させた場合は、放射性セシウムは除去されず、水分が除去された分、放射性セシウム濃度が増加するが、調味液への浸漬、塩抜きという工程を経ることで、それぞれ約 15~20%、約 70% の放射性セシウムが除去され、最終的に牛肉中への残存割合は調理前の 0.1 (除去率 90%) 程度となるということが明らかとなった。

2. ブルーベリーの乾燥(ドライブルーベリー)

ブルーベリーの乾燥前後に測定した重量、放射性セシウム濃度、1 試行あたりの放射性セシウム放射能などの情報を表 12 に示した。また、これらの値を用いて算出した残存割合 F_r 、重量比 P_e 、濃度比 P_f 、除去率 (%) を表 13 に示した。

乾燥前後で放射性セシウム濃度は 75 Bq/kg から 350 Bq/kg に増加し、濃度比 P_f は 4.68 となった。また、重量比 P_e は 0.19、残存割合 F_r は 0.91 となった。ドライブル

ーベリーは、ブルーベリーをそのまま乾燥させるため、理論的には放射性セシウムが除去されることはないと考えられる。本検討では除去率が9%となったが、これは調理前の放射性セシウム測定後にドリップを除去したことと、放射性セシウムの測定誤差に起因するものと考えられた。

3. ブルーベリージャム

ブルーベリージャム調理の前後に測定したデータを表14に、これらの値を用いて算出した各種パラメータを表15に示した。

ブルーベリージャムには調理前のブルーベリー重量の約50%の砂糖を加えて調理を行い、全体量が元のブルーベリー重量程度に煮詰めた。そのため、重量比 Pe は0.98と調理前と差のない値となった。一方で濃度比 Pf は0.86と、砂糖が添加されている分、原材料より低い濃度となった。残存割合は0.84、除去率は16%となった。ジャムの調理過程では、放射性セシウムが除去されることはないと考えられるため、この減少は放射性セシウムの測定誤差や試料を鍋から回収する際の損失（粘度が高く、鍋肌から取りきれなかった試料があった）によって生じたものと考えられた。

4. ナツハゼジャム

ナツハゼジャム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16および表17に示した。

ナツハゼジャムもブルーベリージャムと同様の調理工程で作製したが、煮詰め度合いがやや少なく、重量比 Pe は1.21となった。濃度は、調理前120 Bq/kgから調理後89 Bq/kgに減少し、濃度比 Pf は0.74となった。ブルーベリーと比較して、煮詰め度合いが甘かったことから、蒸発しなかった水分の分、濃度比が低くなったものと考えられた。残存割合は0.90、除去率は10%となったが、これもブルーベリー同様、ジャム

の作製過程で放射性セシウムが除去された訳ではなく、測定誤差や試料回収の際の損失によるものと考えられた。

5. 焼きシイタケ

調理前後の測定結果を表18に濃度比、重量比などのデータを表19に示した。

焼きシイタケは、傘、軸の両方をフライパンで調理した。調理前のシイタケの放射性セシウム濃度は約30000 Bq/kgであったが、調理後には約35000 Bq/kgとなり、濃度比 Pf は1.18となった。焼く過程でシイタケからは水分が蒸発あるいは流出しており、重量比 Pe は0.77となった。シイタケ中の放射性セシウム残存割合 Fr は0.92、除去率は8%と、この調理法ではほとんど放射性セシウムが除去されなかった。重量比から、約20%の水分がシイタケから蒸発あるいは流出により除去されたと考えられるが、流出量はわずかであり、放射性セシウムの流出もほとんど生じなかったと考えられた。

6. タラノメのてんぷら

タラノメのてんぷらの調理前後の実測データを表20に、これを基に算出された濃度比などのデータを表21に示した。

タラノメのてんぷらには放射性セシウムが検出されないことを確認した小麦粉を用いて衣をつけた。衣重量および吸油重量の分、試料重量は重くなり、調理後の重量比 Pe は1.98となった。濃度比 Pf は0.54となり、重量が増加した分、濃度比が低下する結果となった。残存割合は1.07、除去率は-7%となり、てんぷらではタラノメ中の放射性セシウムが除去されないことが示された。揚げる調理の場合、衣をつけて高温で短時間加熱するため、食品からの水分溶出に伴う放射性セシウムの溶出がほとんど生じなかったものと考えられた。

7. コシアブラのてんぷら

コシアブラのてんぷらの測定データおよび濃度比、重量比、残存割合、除去率の算出値を表 22 および表 23 に示した。

コシアブラのてんぷらもタラノメと同様の工程で調理した。その結果、調理後の重量比 Pe が 1.78、濃度比 Pf が 0.55 とタラノメと近似した値となった。残存割合および除去率は 0.97 および 3% となり、コシアブラについてもてんぷらでは放射性セシウムが除去されなかった。今回実施した山菜類のてんぷらのみならず、以前に報告したワカサギや牛肉のから揚げなどにおいても、放射性セシウムがほとんど除去されていなかった^{5,6)}。放射性セシウムは水溶性であることから、油中には溶出しにくいこと、揚げる調理では 160℃ 以上の高温で短時間加熱するため、水分は蒸気となって放出され、放射性セシウムは食品に残存したものと考えられた。

8. ワラビのあく抜き

ワラビのあく抜き前後の重量、放射性セシウム濃度などのデータを表 24 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 25 に示した。調理工程の各工程における試料の様子を図 3 にまとめた。

あく抜きは、重曹を用いた従来法と小麦粉と塩を用いた簡易法の 2 方法で行った。重曹を用いてあく抜きを行なった場合、重量比 Pe は 1.09 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、調理する前は 200 Bq/kg であったが、あく抜きの後では 16 Bq/kg にまで減少し、濃度比 Pf は 0.08 となった。残存割合 Fr は 0.08、除去率は 92% となり、重曹を用いたあく抜きを実施することによってワラビに含まれる放射性セシウムの 90% 以上を除去することができた。図 3 に示した調理工程での様子を見ると、ゆで汁中に 5 時間放置した後の水は、ゆで直後に比べて濃い着色が認められ、

この過程であくがワラビから溶出されたと考えられる。今回、ゆで汁や一晚浸漬した後の水などの分析を行うことができなかったが、長時間水中にさらしたことで、山菜に含まれるあくと共に、放射性セシウムも水中に溶出したものと考えられた。また、重曹には植物組織を構成するペクチンの加熱分解を促進する効果があり⁷⁾、組織の軟化により、あくを含む植物中成分の溶出を促進していると考えられる。この重曹の効果により、ワラビ中の放射性セシウムも効果的にゆで汁や水さらしに用いた水中に溶出したものと考えられた。

小麦粉を用いてあく抜きを行なった場合では、重量比 Pe は 1.02 と、重曹を用いたあく抜きと同様にほとんど調理前後で変化がなかった。一方、濃度比 Pf は 0.72、残存割合 Fr は 0.72、除去率は 28% と、調理前のワラビに含まれていた放射性セシウムの約 30% を小麦粉を用いた簡易的なあく抜きで除去できたが、重曹を用いたあく抜きと比較すると、放射性セシウムの除去効果は低いものであった。小麦粉を用いた方法は、水さらしの時間が 10 分間と、重曹の場合の 23 時間と比較して著しく短時間であった。また、小麦粉には植物組織を軟化させるような効果はなく、このような違いが、小麦粉と重曹のあく抜きで除去率が大きく異なった要因であると考えられた。

一部のあくの少ない山菜やてんぷらなどの調理を行う場合を除いて、あく抜きは不味成分の除去や発がん性物質の除去などの目的で行われる山菜調理に必須の工程である。山菜調理における適切な食材の前処理は、放射性セシウムの除去の観点からも有効であると考えられた。

9. ゼンマイのあく抜き

ゼンマイのあく抜き前後の重量、放射性セシウム濃度のデータを表 26 に示した。調理工程の各工程における試料の様子を図 4

にまとめた。

ゼンマイについてもワラビと同様に重曹を用いた方法と小麦粉を用いた方法の2種類のあく抜きを実施した。ゼンマイでは、重曹を用いたあく抜きにおける重量比、濃度比、残存割合、除去率は表27に示すとおり、それぞれ1.26、0.15、0.19、81%となった。ワラビでのあく抜きでの除去率には及ばなかったものの、放射性セシウムの除去効果は高かった。また、小麦粉を用いたあく抜きを行なった際の重量比、濃度比、残存割合、除去率は、それぞれ1.17、0.85、0.97、3%であった。ワラビのあく抜きでは、小麦粉を用いた方法でも30%程度の放射性セシウムを除去されたが、ゼンマイでは放射性セシウムの除去効果が認められない結果となった。ワラビとゼンマイのあく抜きでは、ゆでる時間やゆで汁、水中での放置時間を同一にしたが、ワラビと比較して不溶性食物繊維が多いゼンマイにはゆで時間が足りず、組織の軟化が不十分となり、組織内部の成分の溶出が少なかった可能性が考えられた。ゼンマイにおいても、ワラビと同様、重曹の効果および水さらしの効果が高く、小麦粉を用いた方法よりも高効率に放射性セシウムを除去できたものと考えられた。

D. 結論

本検討の結果、牛肉や果実の単純な乾燥では、原材料中の放射性セシウムは除去されず、水分除去により重量が減少するため、放射性セシウム濃度が増加した。このような調理・加工では、原料が基準値を下回る場合であっても、調理・加工後には基準値を上回る可能性があるため注意が必要である。しかし、乾燥前に調味液に浸漬した場合においては、浸漬および塩抜きの過程で放射性セシウムが約90%除去できることが、牛肉を用いた検討で確かめられ、放射性セシウム除去に有効な方法であることが示さ

れた。

ジャムのように材料を加えて煮込むだけの調理では、追加した調味料や水の分、重量比や濃度比が変化するが、放射性セシウムは除去されなかった。また、焼きや揚げ（てんぷら）の調理では、短時間の加熱で水分の蒸発は起こると考えられるものの、放射性セシウムは溶出せず、放射性セシウムの除去はほとんど期待できないという結果となった。

一方で、山菜類のあく抜きは、ゆでこぼし、水さらしなどの工程を経るため、放射性セシウムが水中に溶出し、放射性セシウムの高効率の除去が期待できる結果となった。特に重曹を用いて植物組織の軟化を促進することでその効果はより高くなると考えられた。しかし、ゆで時間が短い場合や、水さらし時間が短い場合は、放射性セシウムの除去効果は低下すると考えられた。このような場合は、山菜のあく抜きとしても不十分で、不味成分なども残存していると考えられる。山菜においては発がん物質が含まれているものもあり、適切な前処理は、そのような成分の除去にも、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。

これらの結果は、これまでの検討で明らかとしてきたように^{5,6,8)}、焼いたり揚げたりするような調理法と比較して、ゆでたり調味液に浸漬するような調理法が放射性セシウムの除去に適していることを支持する結果であった。

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) : 印刷中.

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) 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-13001-2_zyokyoritu_kaitei_honPen.pdf

5) 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.

6) 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.

7) 湊上倫子 (2013). 調理・加工による食品物性の挙動と組織に関する総合的研究. 日本調理科学会誌 46(2) : 65-74.

8) 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.

1. 特許取得
なし。
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

F. 研究発表

1. 論文発表
2. 学会発表

G. 知的財産権の出願・登録状況

(1) 下味なし



(2) 下味あり

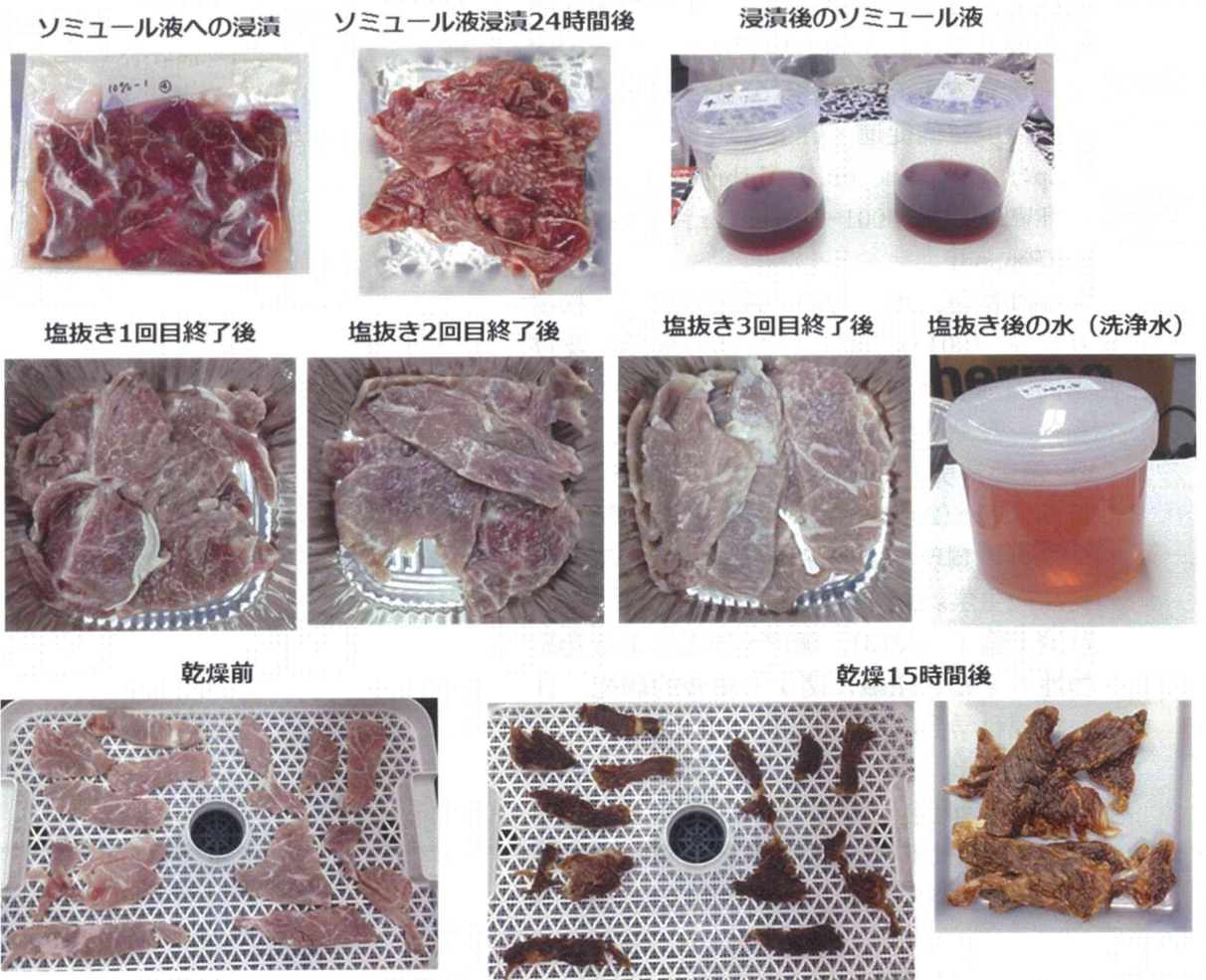


図1：牛肉の乾燥（調味の有無）における調理前後および調理中の様子
(1) 下味なし、(2) 下味あり

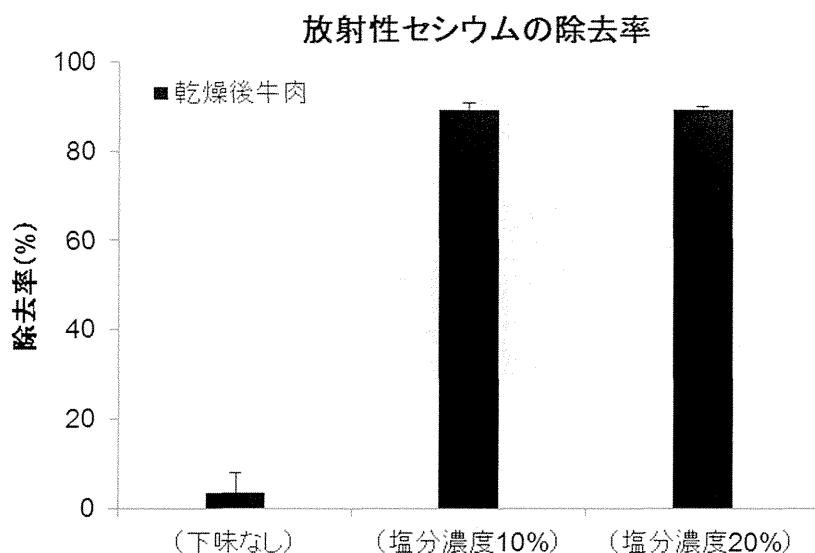


図 2：牛肉の乾燥による放射性セシウムの除去率

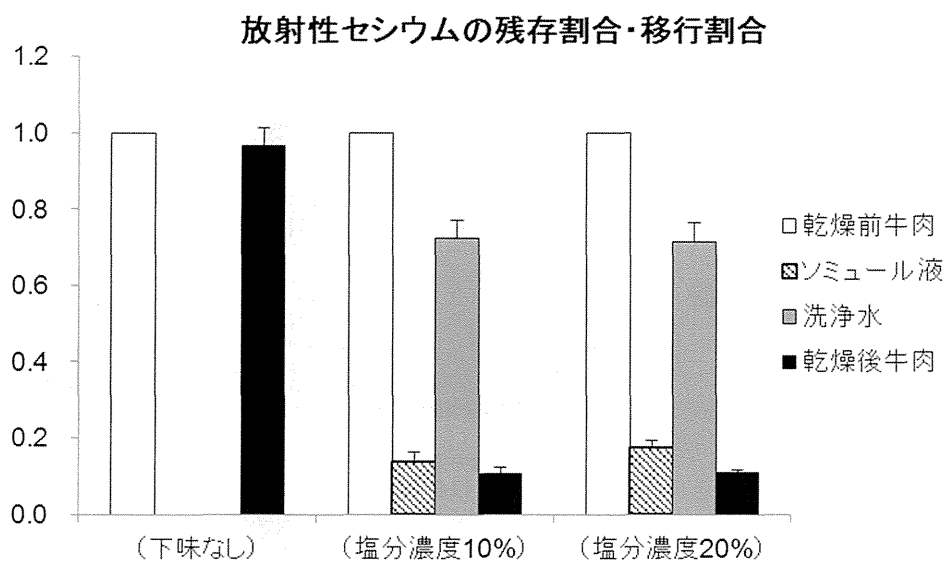


図 3：牛肉の乾燥および調味の有無における牛肉中の放射性セシウム残存割合および調味液（ソミュール液）、洗浄水中への放射性セシウム移行割合

(1) ワラビ あく抜き (重曹)



(2) ワラビ あく抜き (小麦粉)



図4：ワラビのあく抜き前後および調理中の様子
(1) 重曹によるあく抜き、(2) 小麦粉によるあく抜き

(1) ゼンマイ あく抜き (重曹)



(2) ゼンマイ あく抜き (小麦粉)

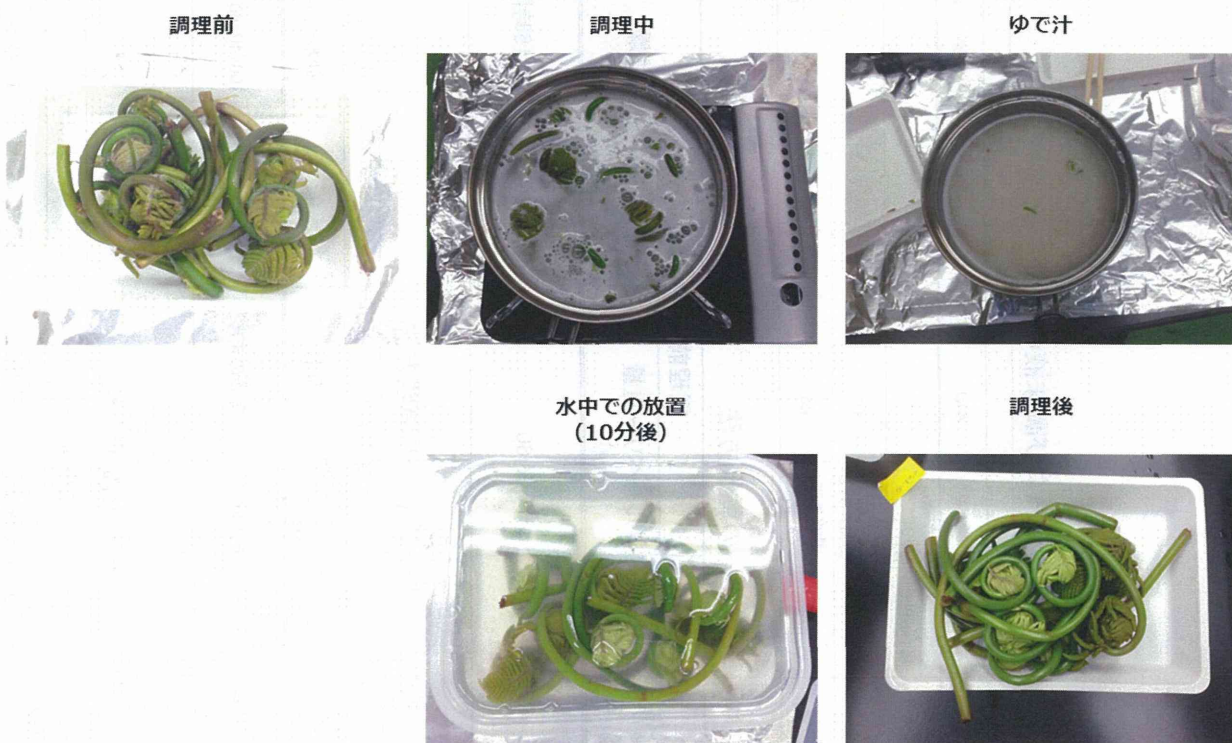


図5：ゼンマイのあく抜き前後および調理中の様子
(1) 重曹によるあく抜き、(2) 小麦粉によるあく抜き

表 1：牛肉の調理方法および調味液の組成

調理法	調理前試料		下味付け					塩抜き		乾燥	調理法	
	牛肉重量(g)	牛肉サイズ	水(g)	塩(g)	砂糖(g)	塩分濃度(%)	ソミュール液量	浸漬時間	塩抜き液(水)量	塩抜き時間		乾燥時間
乾燥 (下味なし)	約100 (6~7枚程度)	縦:2~4 cm 横:7~10 cm 厚さ:0.3~0.5 cm	-	-	-	-					70°C、15時間	乾燥のみ
乾燥 (下味あり塩分10%)	約100 (6~7枚程度)	縦:2~4 cm 横:7~10 cm 厚さ:0.3~0.5 cm	173	20	7	10	50g (肉重量の1/2)	4°C、24時間	200g (肉重量の2倍)	4°C、1時間 水を変えて3回	70°C、15時間	下味付け、塩抜きの順に行った後、乾燥
乾燥 (下味あり塩分20%)	約100 (6~7枚程度)	縦:2~4 cm 横:7~10 cm 厚さ:0.3~0.5 cm	153	40	7	20	50g (肉重量の1/2)	4°C、24時間	200g (肉重量の2倍)	4°C、1時間 水を変えて3回	70°C、15時間	下味付け、塩抜きの順に行った後、乾燥

表 2：ブルーベリーの乾燥方法

調理法	調理前試料		乾燥	調理法
	ブルーベリー重量 (g)	形状		
乾燥	約60	有姿のまま	65°C、15時間	姿のまま乾燥機に並べ、65°Cで15時間乾燥

表 3：ブルーベリージャムの調理方法

調理法	調理前試料		調味料			調理法
	ブルーベリー重量 (g)	形状	水(g)	砂糖(g)	レモン汁(g)	
ジャム	約180	有姿のまま	20	100(40+60)	10	水を加えて加熱後、砂糖を2回に分けて入れ、さらに煮詰める。 全体量が元の果実重量程度に煮詰まったら火を止める

表 4：ナツハゼジャムの調理方法

調理法	調理前試料		調味料		調理法
	ナツハゼ重量(g)	形状	水(g)	砂糖(g)	
ジャム	約70	有姿のまま	7	35(14+21)	水を加えて加熱後、砂糖を2回に分けて入れ、さらに煮詰める。 全体量が元の果実重量程度に煮詰まったら火を止める

表5：シイタケの焼き調理方法

調理法	調理前試料		調理法
	シイタケ重量(g)	形状	
焼き	約170 (7~9個程度)	有姿のまま	フライパンにアルミホイルを敷き、傘を上にしてシイタケを置き、蓋をして中火で5分間焼く。

表6：タラノメのてんぷら調理方法

調理法	調理前試料		調理法
	タラの芽重量(g)	形状	
てんぷら	約80 (8~10個程度)	有姿のまま	衣(薄力粉:水=2:1)をつけ、160°Cの油で2~3分間揚げる

表7：コシアブラのてんぷら調理方法

調理法	調理前試料		調理法
	コシアブラ重量(g)	形状	
てんぷら	約35 (7~9個程度)	有姿のまま	衣(薄力粉:水=2:1)をつけ、160°Cの油で2~3分間揚げる