

加工食品の放射性物質測定（重量変化率等）に関する検討

村田 将¹⁾ 堤 泰規²⁾ 吉田加寿子 大越憲幸 笹原賢司
 衛生研究所 ¹⁾ 三重県防災対策部防災企画・地域支援課 ²⁾ 福岡県筑紫保健福祉環境事務所

要 旨

福島第一原発事故以降、当所では加工食品等の放射性物質検査を実施し、県民の食への安全安心の確保に努めている。検査の中で、通常水戻しや茹でて喫食する食品については、厚生労働省の通知法に示された重量変化率に従って、水分を添加してから測定を行っている。

乾燥しいたけ、乾燥きくらげ、切り干しだいこんおよび凍みだいこん、干しぜんまい、いもがらを用いて水戻しを行い、重量変化率を確認したところ、国が示した値の妥当性が確認された。一方、通知法に重量変化率が示されていない凍み豆腐、麩（焼き麩）、打ち豆および凍み餅について、実際の調理に近い処理を行った結果、重量変化率はそれぞれ 3.7、7.0、1.8 および 2.0 と算出された。さらに、調理時の水戻しにおいて灰汁抜き等のために水を交換する干しぜんまい、いもがらは、水交換によって放射性セシウム濃度が大きく低下することが示された。

キーワード：加工食品、放射性物質、セシウム、重量変化率

はじめに

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故が発生し、県では農林水産物を対象とした緊急時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することとなった。これによって、食品衛生法上の暫定規制値¹⁾や、平成24年4月から適用となった新基準値²⁾を超過した食品の流通を未然に防止し、県民の食の安全安心の確保に努めている。

新基準値の導入に併せて、厚生労働省から「食品中のセシウム検査法(以下「通知法」)」が示された³⁾。通知法では、「乾燥させた食品を測定する際には、できるだけ飲食に供される状態と同様の状態で行う観点から、粉碎後のサンプルに、水戻しによる水分含量の公表データ（重量変化率）を参考として、必要な水分をあらかじめ添加し行うことを原則とする」とされており、当所でもこの方法に基づいて検査を行っている。

通知法では乾燥しいたけや切り干しだいこんなど広範な食品について重量変化率が示されている。このうち一部の食品については、当所でも多数の検体の測定を行ったことから、それらの検体から得られた重量変化率の実測値と通知法の重量変化率を比較し、その差異を確認した。

一方、県内で一般的に製造、消費されている凍み豆腐や麩等については、乾燥状態で喫食されるものではないが、通知法に重量変化率が示されていないために、「飲食に供される状態」での測定ができていないのが現状である。さらに、実際の調理の際に水を交換しながら水戻しをするぜんまい等では、その過程でセシウムが相当量除去されると推察される。これらの食品について、「飲食に供される状態」での検査結果が提供できるように、水戻し等の前処理について検討を行ったので報告する。

材 料

乾燥しいたけ、乾燥きくらげ、干しぜんまい、いもがら、切り干しだいこん、凍みだいこん、打ち豆および凍み餅は、収去品の管理期限が切れたものを検討に用いた。凍み豆腐および麩（焼き麩）は、収去品の管理期限が切れたものに加えて、市販品を入手して検討を行った。

方 法

1 重量変化率の測定

乾燥しいたけ、乾燥きくらげ、切り干しだいこんおよび凍みだいこんはそれぞれ約 20g に検体全体が浸る程度の量の水を加えて一晚

表1 乾燥食品の前処理方法

品目	前処理方法
凍み豆腐	軟らかくなるまで、検体全体がひたる程度の量の湯（60℃）に3分～10分間ひたす。
麩（焼き麩）	軟らかくなるまで、検体全体がひたる程度の量の水に3分～60分間ひたす。
打ち豆	沸騰水に検体を加え、2分間茹でる。
凍み餅	検体全体がひたる程度の量の水に一晩ひたす。
干ぜんまい	検体を15倍量の水に一晩ひたす。水を切り、検体の25倍量の沸騰水で20分間茹でる。これを放冷し、水を切ってから重量と放射性セシウム濃度を測定する（茹で戻し）。これを再度2Lの水に20分間ひたし、水を切ってから放射性セシウムを測定する（水洗い）。
いもがら	検体を15倍量の水に10分間ひたし、軽く絞る。これを検体の15倍量の水に入れて火にかけ、沸騰後さらに5分茹で、水を切ってから重量と放射性セシウムを測定する（茹で戻し）。これを再度2Lの水に20分間ひたし、水を切ってから放射性セシウムを測定する（水洗い）。

において、重量を測定した。浸漬前後の重量の比（浸漬後／浸漬前）を、実測重量変化率として計算した。さらに、今回入手した検体は、形状や乾燥状態が大きく異なっていたため、105℃、5時間加熱、乾燥し、浸漬前検体の水分含量を測定して実測重量変化率との相関を確認した。

干しぜんまいおよびいもがらは15g～20gを一晩水で戻す方法で重量変化率（「水戻し」）を計算した他に、約100gを用いて、表1の前処理のうち「茹で戻し」処理を行った段階で、重量を測定した。この「茹で戻し」処理前後の重量比（処理後／処理前）を重量変化率（茹で戻し）として計算した。

凍み豆腐、麩（焼き麩）、打ち豆、凍み餅、干しぜんまいおよびいもがらの前処理方法は、成書、製造者およびウェブサイト等から情報を収集し、その共通部分を整理して規定した（表1）。

凍み豆腐は約25g、麩（焼き麩）は約15g、打ち豆は約50g、凍み餅は約50g～約100gを用い、規定した方法に従って前処理を行い、重量を測定した。この処理前後の重量比（処理後／処理前）を重量変化率として計算した。

2 放射性セシウムの測定

干しぜんまいおよびいもがらは、前述の重量変化率の測定で、「茹で戻し」処理を行った検体から0.7Lマリネリ容器に入る量を取り、放射性セシウムを測定した。また「茹で戻し」処理の際に、検体を浸した「浸漬水」と、検体を茹でた「茹で戻し水」についても、処理

容器に残留したものをを用いて同様に測定を行った。測定後、マリネリ容器から検体を取り出し、その検体に対して表1の「水洗い」処理を行った。この全量を再度0.7Lマリネリ容器に移し、放射性セシウムの測定を行った。

放射性セシウムの測定は以下の条件で行った。

機器：ゲルマニウム半導体検出器（Canberra社製、GC3020 および GC4020）

測定時間：2,000秒～4,000秒

3 放射性セシウム濃度および検体中含有量の計算

各検体の放射性セシウムの測定において、不検出（ND）となった場合は、地球環境モニタリングシステム（Global Environmental Monitoring System；GEMS）の食品中の微量化学物質測定データの取り扱いに関する推奨法において、「NDとならなかった試料数が全体の60%以上だった場合」として挙げられた計算法に準拠して、NDとなった濃度をLOD/2として計算した⁴⁾。本推奨法は、食品に由来する化学物質への曝露量を推定するために規定された方法であり、今回の検討も放射性物質の曝露量の算出に繋がるものであるため、便宜的に用いた。

干しぜんまいおよびいもがらでは、「茹で戻し」処理以降は、0.7Lマリネリ容器に移した検体のみを対象として以降の処理を行った。そのため、「水洗い」処理後の検体全体の重量は、0.7Lマリネリ容器に詰めた「茹で戻し」処理後の検体と、「水洗い」処理後の検体重量を用いて以下のように算出した。

「水洗い」処理後検体重量

$$= \frac{\text{「茹で戻し」処理後検体重量}}{\text{「茹で戻し」処理後検体重量}} \times \frac{\text{「水洗い」処理後マリネリ容器中重量}}{\text{「茹で戻し」処理後マリネリ容器中重量}}$$

以上のように求めた濃度と検体重量を掛け合わせることで、干しぜんまいおよびいもがらの乾燥状態、「茹で戻し」処理後および「水洗い」処理後の検体、ならびに「茹で戻し」処理の残留水（「浸漬水」および「茹で戻し水」）の放射性セシウム量を算出した。

結果および考察

1 通知法に重量変化率が示されている加工食品

乾燥しいたけ、乾燥きくらげおよび切り干しだいこんは通知法に重量変化率が示されている。また、凍みだいこんは通知法には記載がないが、本県の担当課との協議の結果、その形態から割り干しだいこんと同じ重量変化率を用いることとしている。

これらの値の妥当性を確認するため、各食品を水に一晩浸けて水戻しを行い、実測重量変化率を算出して通知法の値と比較した。その結果、すべての食品で、通知法の値よりも若干大きい値が得られた（表2）。また、得られた実測値は、比較的大きなばらつきが認められた。

このばらつきの要因として、検体毎の乾燥状態に差があるものと考えられたため、各検体の水分含量を測定した結果、乾燥しいたけ、切り干しだいこん、凍みだいこんでばらつきが認められた。重量変化率と水分含量には明らかな相関は見られなかった。

検体の大きさや形状をみると、乾燥しいたけでは、笠の開き方の異なる「冬菇（どんこ）」と「香信（こうしん）」、それらをスライスしたものなどがあり、個体の大きさにも差がみられた。乾燥きくらげも大きさに差があり、大きい個体ほど水を多く吸収する傾向がみられた。切り干しだいこんおよび凍みだいこんは、個人等の小規模な生産者によって製造されたものが多く、乾燥状態や形状に大きな違いが認められた。このため、実測重量変化率のばらつきの要因には、検体毎の大きさや形状の違いが関与しているものと推察された。

今回確認された実測重量変化率のばらつきを考慮すると、調査で得られた測定値をそのまま検査に適用することは難しい。しかし、重量変化率は、その値が大きいほど計算上の放射性濃度は低くなるため、消費者の安全側に立って考えれば、より高い濃度となる通知法の重量変化率を用いることは妥当であると考えられた。

一方、干しぜんまい、いもがらでは、水戻しの重量変化率は通知法より小さい値となった（表3）。

表3 干しぜんまい、いもがらの重量変化率

品目	通知法	処理方法	検体数	重量変化率 (平均±S.D.)
干しぜんまい	6.3	水戻し	19	3.9±0.5
		茹戻し	6	6.9±0.9
いもがら	7.6	水戻し	22	5.1±0.8
		茹戻し	5	7.2±0.9

表2 通知法に示された重量変化率の妥当性確認

品目	検体数	重量変化率		水分含量(%) (平均±S.D.)	相関係数
		通知法	測定値 (平均±S.D.)		
乾燥しいたけ	29	5.7	6.9±1.1	7.7±3.4	-0.08
乾燥きくらげ	16	10	11±1.6	10.5±1.8	-0.23
切り干しだいこん	17	4.0	6.7±2.1	18.9±6.7	-0.63
凍みだいこん	20	4.0*	5.2±1.7	22.5±8.3	-0.57
干しぜんまい	19	6.3	3.9±0.5	11.4±1.8	-0.48
いもがら	22	7.6	5.1±0.8	16.3±4.3	-0.40

*割り干し大根の重量変化率に準拠した。

これは、一晩水に浸けて水戻しを行うのみでは十分に戻った状態にはならず、加熱することで喫食出来る状態になるものと考え、前処理の茹で戻し後の重量変化率をみた。両食品とも茹で戻し後の重量変化率が通知法に示された値と概ね一致した。

2 通知法に重量変化率が示されていない加工食品

凍み豆腐、麩、打ち豆、凍み餅は、通常乾燥状態で喫食するものではないが、通知法に重量変化率が示されていないために、水戻しによる濃度変化を反映した結果が報告できていない。そこで、実際の調理に近い前処理法を用いて重量変化率を算出した結果、それぞれの食品の重量変化率は表4の通りとなった。この中で、麩において比較的ばらつきが大きかった。麩はその製造法の違いから、生麩、焼き麩、揚げ麩等に分類されるが、本研究では、福島県で一般的に消費される焼き麩のみを対象とした。しかし、同じ焼き麩であっても、大きさや形状は多様であったため、それが重量変化率のばらつきに影響したと推定される。このように麩については課題が残るものの、他の品目ではばらつきも小さく、水戻し時の重量変化率を示す値として検査への適用も可能と考えられる。

表4 通知法に重量変化率が示されていない加工食品の検討

品目	検体数	重量変化率 (平均±S.D.)
凍み豆腐	19	3.7±0.5
麩(焼き麩)	11	7.0±1.7
打ち豆	10	1.8±0.1
凍み餅	16	2.0±0.3

3 水戻しにおいて水交換を行う加工食品の放射性セシウム濃度および検体中含有量

1で示したように、通知法の重量変化率は調理時の戻り率を元にしてしていると思われるが、干しぜんまいおよびいもがらでは、調理時の水戻しの際に、灰汁抜きなどを目的にして、水を数回交換することが一般的である。食品中の放射性セシウムは水に移行しやすいため

に、この操作によって相当量が除去されると考えられるが、通知法ではその効果を反映した結果が得られない。

そこで表1に示した実際の調理に近い前処理を行い、放射性セシウム濃度の変化を検討した。

その結果、両食品の前処理による重量と放射性セシウム濃度の変化は表5の通りとなった。通知法による重量変化率を用いて、乾燥状態のセシウム濃度から水戻しのセシウム濃度を換算すると、干しぜんまいが16%、いもがらが13%である。1で行った前処理により検体ごとに得られた重量変化率(水戻し)の平均値を用いると、水戻し後の放射性セシウム濃度は、干しぜんまいおよびいもがら共に、乾燥状態の14%となった。一方、茹で戻しおよび水洗い処理後の放射性セシウム濃度の平均値(NDとなった検体はLOD/2として計算)は、乾燥状態に比較して、干しぜんまいで1.9%および1.4%、いもがらで4.6%および2.6%となり、いずれも重量変化率から換算した値から大きく低下した(図1)。

水戻し処理による放射性セシウムの除去効果をより直接的に評価するため、各処理工程における、検体および処理水中の放射性セシウムの絶対量を算出した(表6および図2)。干しぜんまいでは、乾燥状態で29Bqだったものが、茹で戻しおよび水洗い処理によって、それぞれ3.9および3.1Bqとなり、除去率は、茹で戻し単独で87%、水洗いを含めると90%となった。いもがらでも、乾燥状態で27Bqだったものが、茹で戻しおよび水洗い処理によって、それぞれ8.8および5.2Bqとなり、除去率は、茹で戻し単独で67%、水洗いを含めると81%となった。放射性セシウムは、茹で戻し工程において、干しぜんまいでは浸漬水に大部分が、いもがらでは浸漬水と茹で水に同程度が移行した。いもがらに比べて干しぜんまいで放射性セシウムの除去率が大きくなった理由は、表1に示した浸漬時間の違いによると推察される。

以上のように、実際の調理に近い前処理を行った場合には、放射性セシウム濃度は、重量変化率を使って計算した値よりも、大きく低下することが示された。水戻しによる放射

表5 水戻し処理時の重量および放射性セシウム濃度

	検体重量 (kg)				核種	放射性セシウム濃度 (Bq/kg)				
	検体重量 (kg)		処理水残量 (kg)			検体			処理水	
	乾燥	茹で戻し	浸漬水	茹で戻し水		乾燥	茹で戻し	水洗い	浸漬水	茹で戻し水
ぜんまい1	0.117	0.864	1.41	2.10	Cs-137	136	4.08	2.17	7.51	1.19
					Cs-134	56.5	2.54	N.D.(<1.39)	3.07	N.D.(<0.58)
ぜんまい2	0.167	0.950	2.15	3.18	Cs-137	52.4	2.05	N.D.(<0.89)	2.15	N.D.(<0.50)
					Cs-134	14.3	N.D.(<1.25)	N.D.(<1.14)	1.16	N.D.(<0.67)
ぜんまい3	0.113	0.701	1.42	2.09	Cs-137	516	8.79	7.32	27.0	4.74
					Cs-134	150	1.81	1.21	8.75	1.30
ぜんまい4	0.102	0.806	1.30	1.76	Cs-137	85.9	2.16	1.71	5.24	N.D.(<0.91)
					Cs-134	39.0	N.D.(<1.12)	1.42	2.30	N.D.(<0.96)
ぜんまい5	0.125	0.820	1.58	2.35	Cs-137	237	3.30	3.25	12.8	2.36
					Cs-134	69.2	N.D.(<1.46)	N.D.(<1.50)	4.86	0.625
ぜんまい6	0.105	0.799	1.33	1.89	Cs-137	96.7	1.75	N.D.(<1.09)	4.51	N.D.(<0.83)
					Cs-134	42.4	N.D.(<1.45)	N.D.(<1.26)	1.53	N.D.(<0.88)
ぜんまい平均値					Cs	249.0	4.75	3.45		
いもがら1	0.094	0.790	1.20	0.74	Cs-137	137	7.40	N/A	1.44	4.72
					Cs-134	63.3	2.79	N/A	N.D.(<1.39)	2.17
いもがら2	0.100	0.658	1.37	0.92	Cs-137	168	6.51	3.48	4.34	4.96
					Cs-134	68.9	3.84	1.19	1.92	2.16
いもがら3	0.108	0.708	1.43	1.09	Cs-137	111	6.69	4.44	2.77	3.45
					Cs-134	52.9	2.54	1.93	1.52	1.77
いもがら4	0.148	0.969	2.04	1.33	Cs-137	190	7.24	N/A	2.46	5.12
					Cs-134	76.9	3.42	N/A	0.999	1.96
いもがら5	0.109	0.850	1.44	0.89	Cs-137	227	10.4	5.41	3.29	8.17
					Cs-134	90.3	3.92	1.87	2.51	3.18
いもがら平均値					Cs	237.0	11.0	6.11		

N.D.: not detected, N/A; not analyzed

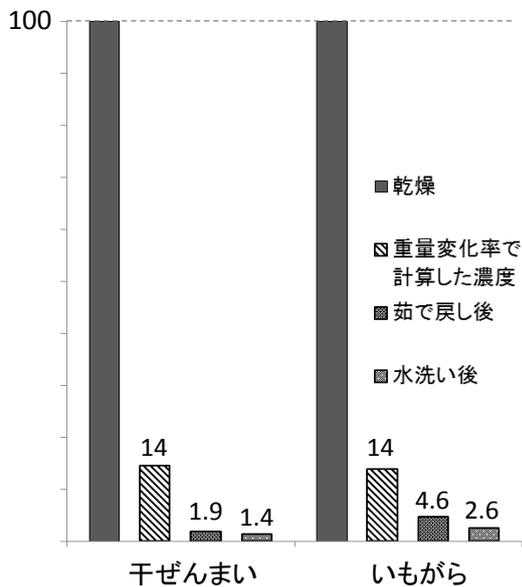


図1 重量変化率および水戻し操作による放射性セシウム濃度の変化
乾燥状態を100としたときの濃度 (%)

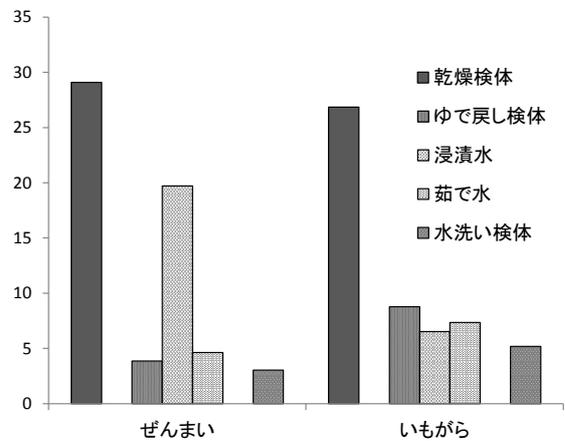


図2 水戻し処理時の検体と処理水中の放射性セシウム量

表6 水戻し前処理における検体と処理水の放射性セシウム量 (平均値) (Bq)

	検体			戻し水	
	乾燥検体	茹で戻し検体	水洗い検体	浸漬水	茹で水
干しぜんまい	29.1	3.7	2.9	19.7	4.6
いもがら	26.9	8.8	5.2	6.5	7.4

性セシウムの除去の程度は、検体によってばらつきが大きいために、重量変化率のように食品ごとに一律の値を示すことは難しいが、実際の調理を反映した結果を報告するためには、前処理の方法を改善する必要があると考えられる。

4) Reliable evaluation of low-level contamination of food - workshop in the frame of GEMS/ Food-EURO. Kulmbach, Germany, 26-27 May 1995-ADDENDUM January 2013.

まとめ

乾燥食品の水戻し等の前処理について検討を行った。通常水戻しや茹でて喫食する食品については、喫食時の放射性セシウム濃度が規制対象となるために、その濃度を計算するための重量変化率が厚生労働省から通知法として示されている。

- 1 乾燥しいたけ、乾燥きくらげ、切り干しだいこんおよび凍みだいこんは、消費者の安全側に立てば、通知法の重量変化率を用いることは妥当であると考えられた。干しぜんまいおよびいもがらについては、一般的な調理法を用いた場合、通知法の重量変化率は妥当であると考えられた。
- 2 通知法に重量変化率が示されていない凍み豆腐、麩、打ち豆および凍み餅については、一般的な調理における重量変化率を検討し、それぞれの食品について適用可能な値が得られた。
- 3 干しぜんまいおよびいもがらについて、放射性セシウムの除去の程度を検討したところ、重量変化率を用いて計算される濃度よりも大きく低下することが明らかとなった。今後はこの効果を反映した前処理法の検討が必要と思料された。

謝 辞

本研究は、一般財団公衆衛生振興会（特別研究助成）より助成を頂き遂行されました。深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 食安発 0317 第 3 号. 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知：2011/3/17
- 2) 食安発 0315 第 1 号. 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知：2012/3/15
- 3) 食安発 0315 第 4 号. 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知：2012/3/15