

乾物の水戻しにオゾン水を用いた場合の食感および成分への影響

Verification of the Effect of Using Ozonated Water for Soaking Dry Food

○内藤 博敬*、齋藤 未菜美**

*：静岡県立農林環境専門職大学，**：静岡県立大学 食品栄養科学部 環境生命科学科

論文要旨

食品の含水量を減じた乾物はアジアに多く見られる保存食品であり、直接調理に利用するだけでなく、水戻しを必要とする。これまで、水戻し時にオゾン水を用いることで付着微生物を減じ、乾物の調理後保存や食中毒予防が可能となることを示してきた。本研究では、乾物の水戻しにオゾン水を用いた場合の食感変化および栄養成分溶出について追究し、オゾン水による水戻しの有用性を示した。

Dried foods that reduce the water content of foods are preserved foods. Dry foods may be used for direct cooking or may require water return. It has been shown that ozonated water is useful for preserving dry matter food after cooking and food poisoning prevention. In this study, we investigated in texture and the leaching of nutrients when dry foods are rehydrated with ozonated water, and demonstrated the usefulness of rehydration with ozonated water.

キーワード：オゾン水、乾物、食感

1. はじめに

日本は四季、季節のある国であり、四方を海に囲まれていることから、農作物に加えて海産物も豊かである。日本人は、こうした限りある自然の恵みを無駄なく使い尽くすために、乾燥食品（乾物）という食文化を築いてきた。乾物は食材の長期保存を目的として水分活性を抑え、微生物による腐敗を防いでいる食品である。SDG's を合言葉とする現代社会において、食品ロスを低減し、持続可能な生産と消費を鑑みると、乾物の世界的な普及が望まれる。

演者はこれまでに、乾物の洗浄や水戻しの際にオゾン水を用いることで、付着残存する微生物の急激な増殖を抑え、芽胞形成菌などによる食中毒予防の可能性を報告してきた。乾物のオゾン水洗浄および水戻しによる除菌効果を検証する中で、4 mg/L オゾン水で水戻しした戻し汁と超純水で水戻しした戻し汁とでは、色調に目視で確認できるほど顕著な違いが見られた。この色調の違いは、水中に溶出した色素成分をオゾンが酸化分解した可能性が考えられる。しかし、ワカメの水戻しを経時的に顕鏡したところ、超純水で水戻ししたワカメの表面細胞はオゾン水で水戻しした場合と比較して、細胞が膨張や破裂が早く起こることが観察された。水戻し時の表面細胞の破壊具合によっても、戻し汁の色調の違いが生じると推察され、乾物の成分溶出や食感に差が生じる可能性が考えられた。

そこで本研究では、12種の乾物に対して水戻しに超純水あるいは4 mg/L オゾン水を用いた場合の食感変化について、加熱前および加熱後でそれぞれ検討した。また、シイタケ、ワカメ、ヒジキについては、オゾン水による水戻しにおける主要栄養成分の変化を追究した。さらに、海藻類の中でもヒジキには海水中の無機ヒ素が蓄積し、乾燥によって濃縮することがわかっており、食用に際してはヒ素を溶出させることが重要となることから、ヒジキ中のヒ素の溶出挙動についても追究した。

2. 実験方法

2.1 オゾン水生成と濃度測定

本研究で用いた 4 mg/L オゾン水は、OPENICS-220（日科ミクロン）および EOS7030-CDE（荏原実業）を用い、超純水（メルクミリポア）を原水として生成した。オゾン水中のオゾン濃度は、パケットテスト（共立理化学研究所）および簡易型濃度計（アイ電子工業製）で 4 mg/L であることを確認して用いた。

2.2 乾物の水戻しにオゾン水を用いた場合の食感変化測定

水戻しした乾物および水戻し後に食品工場における熱加工を参考にし、真空パックして圧力釜（オートクレーブ）で 98°C、1 時間加熱した乾物食品を対象とし、これらの食感を TEX-100N 食感試験機（日本計測システム株式会社製）を用いて計測した。食感測定条件は、加圧 10 mm、治具面積 314.15 mm² 条件で測定を行った。圧縮による測定を行うことが可能であるアズキ、ダイズ、シイタケ、ワカメ、ヒジキ、貝柱、切干しダイコンおよび高野豆腐については、硬さ^{a)}、凝集性^{b)}、弾力性^{c)}、咀嚼性^{d)}、ガム性^{e)}を測定算出した。圧縮による測定が難しいコンブ、キクラゲおよびハルサメについては、切断力を測定した。また、寒天については、実際に食す状態に近いものを測定することとし、加熱溶解後の硬さ、凝集性、弾力性、咀嚼性、ガム性に加えてゼリー強度について測定を行った。各乾物は、いずれにおいても 10 個～15 個以上の測定を行い、中央値を含む 10 個の値を平均して測定値とした。

- 硬さ：負荷を与えた際の最大荷重をピーク断面積で除した値。値が大きいほど硬い。
- 凝集性：負荷を 2 回連続で与えた時の 1 回目と 2 回目の圧縮エネルギーの比を示したもの。
値が大きいほど噛んだ時の変形が少ない。
- 弾力性：加負荷 1 回目と 2 回目の荷重の比。値が大きいほど弾力性を有する。
- 咀嚼性：硬さ、凝集性、弾力性の積。値が大きいほど咀嚼にエネルギーを要する。
- ガム性：硬さと凝集性の積。値が大きいほどゴムのことを表す。

2.2 乾物の水戻しにオゾン水を用いた場合の栄養成分変化測定

超純水または 4 mg/L オゾン水それぞれで水戻ししたシイタケ、ワカメ、ヒジキを対象として、食品表示基準に基づいて熱量（修正アトウォーター法[kcal/100g]）、たんぱく質（窒素定量換算法<燃料法>[g/100g]）、脂質（酸分解法[g/100g]）、炭水化物（計算法[g/100g]）、ナトリウム（誘導結合プラズマ発光法[mg/100g]）、水分（減圧加熱乾燥法[g/100g]）、灰分（直接灰化法[g/100g]）、食塩相当量（計算法[g/100g]）の分析を行った。

2.3 水戻しによるヒジキの含有無機ヒ素の溶出変化測定

水戻し汁中に溶出した無機ヒ素量は、水戻し時に経時的（0, 2.5, 5, 10, 15, 20 分）にサンプリングした水戻し汁を、メルコクアント®ヒ素テスト（メルク製）を用いて複数回測定し、平均値を算出した。

超純水または 4 mg/L オゾン水で水戻しした際のヒジキ中に残存する無機ヒ素量は、ICP-AES を用いて測定した。水戻し時間 20 分を終点とし、それぞれ 25°C で水戻しを行い、0 分（乾燥状態）、浸漬 2.5 分、浸漬 10 分、浸漬 20 分のヒジキを試料とした。各ヒジキ試料は、破砕器によって粉末として均一化し、この粉末 0.1 g に硝酸 1 mL を加えて 80°C で 1 時間加熱した。放冷後にアンモニア水で中和し、純水で 50 mL に定容して、ICP-AES で測定した。

3. 結果と考察

3.1 乾物の水戻しに超純水またはオゾン水を用いた場合の食感変化

超純水あるいは 4 mg/L オゾン水で水戻ししたアズキ、ダイズ、シイタケ、ワカメ、コンブ、ヒジキ、

貝柱、キクラゲ、切り干しダイコン、ハルサメ、高野豆腐、寒天の乾物食品 12 種、および、これらを真空加熱加工（寒天については各々の水で溶解後冷却固化）したものについて食感測定を行った。乾物の多くは加熱調理して食すことから、主として加熱後の食感の差について考察する。

加熱後のアズキでは、オゾン水で水戻した方が硬さで低い値を示していた。アズキを餡とする場合など、より柔らかくなるオゾン水を用いた水戻しが有用であると考えられる。

ダイズでは、硬さ、凝集性、咀嚼性およびガム性で、オゾン水で水戻し加熱した方が高値を示した。

加熱後のワカメでは、凝集性、弾力性および咀嚼性で、いずれで水戻した場合も加熱前と比べて低い値を示した。ワカメは加熱による固化がみられず、むしろ軟化する傾向にあり、これはオゾン水で水戻した場合でより顕著であった。

加熱後のヒジキは、硬さ、凝集性、弾力性、咀嚼性、ガム性全てにおいてオゾン水で水戻したヒジキの方が高い値を示した。ヒジキはオゾン水で水戻しすることによって、歯ごたえの向上が期待できる。

加熱後の貝柱は、硬さおよび咀嚼性、ガム性においてオゾン水で水戻した貝柱の方が低い値を示した。また、加熱前後で両者ともに凝集性および弾力性が低下したものの、加熱による硬化（脱水と考えられる）がみられた。オゾン水で水戻しして加熱調理を行うことで、硬化の抑制が期待できる。

シイタケでは、超純水による水戻しでは加熱後に弾力性が低下したが、オゾン水で水戻した場合には加熱前よりも高い値を示した。シイタケは水戻し後に加熱調理して食す食材であり、咀嚼性やガム性の上昇は歯ごたえの向上を意味することから、シイタケの水戻しにオゾン水を用いることは食感の向上につながると考えられる。

切干しダイコンでは、加熱後は両者ともに硬さは低下したものの、咀嚼性およびガム性においては、オゾン水で水戻した方が低い値を示した。また、加熱前、超純水で水戻した場合と比べてオゾン水で水戻した場合では弾力性が高く、加熱後さらに上昇した。オゾン水で水戻しして加熱調理を行うことで、柔らかく弾力性がある一方で、粘着性の低いシャキシャキとした食感が期待できる（図 1 A）。

加熱後の高野豆腐では、両者ともに弾力性が上昇したものの、硬さおよび凝集性が低下し、咀嚼性およびガム性も低下した。超純水で水戻した高野豆腐と比べてオゾン水で水戻した高野豆腐で硬さが高く、凝集性は若干高く、弾力性は低く咀嚼性やガム性は高かった。高野豆腐をオゾン水で水戻しして加熱調理を行うことで、咀嚼性およびガム性を維持した食感が期待できる。

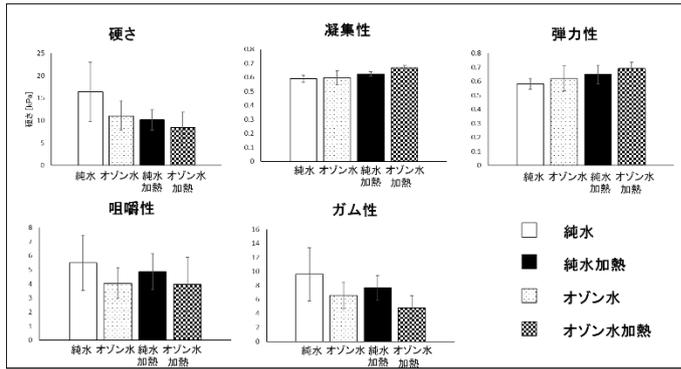
超純水で水戻したコンブは、加熱後に切断力が若干高くなったのに対し、オゾン水で水戻した場合には加熱後に切断力の低下がみられた。加熱前後のいずれも超純水で水戻したコンブよりもオゾン水で水戻したコンブで切断力が低く、容易に噛み切れる張りが認められた。

加熱前後のいずれも、超純水で水戻したキクラゲよりもオゾン水で水戻したキクラゲで切断力が高かった。また、超純水で水戻したキクラゲは、加熱後に切断力が若干低くなったのに対し、オゾン水で水戻したキクラゲは加熱前後で切断力に差が見られなかった。オゾン水で水戻しすることで切断力を維持し、よりコリコリとした食感が得られると考えられる（図 1 B）。

加熱前後のいずれも、超純水で水戻したハルサメよりもオゾン水で水戻したハルサメで切断力が高かった。超純水で水戻したハルサメは加熱前後で切断力に変化はみられなかったが、オゾン水で水戻したハルサメは加熱後に切断力の低下がみられた。ハルサメは水戻し後に加熱調理して食すが、デンプンの加工食品であるため、加熱時間が長いと軟化することが考えられる。オゾン水で水戻しすることで切断力を維持し、より歯ごたえのある食感が得られると考えられる。

超純水で水戻した寒天と比べてオゾン水で水戻した寒天で弾力性および咀嚼性が高かった。オゾン水で水戻しして溶解、冷却固化した場合において、寒天特有の歯ごたえの向上が期待できる。

A 切干ダイコン



B キクラゲ

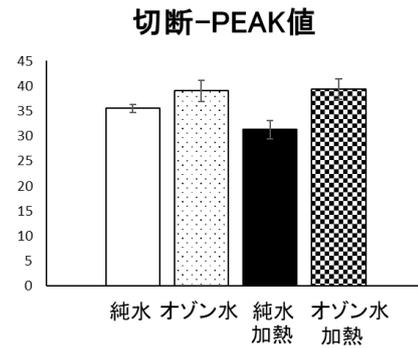


図 1 水戻しおよび加熱後の切干ダイコンおよびキクラゲの食感変化

3. 2 乾物食品の水戻しに超純水またはオゾン水を用いた場合の栄養成分変化

超純水あるいは 4 mg/L オゾン水で水戻ししたシイタケ、ワカメ、ヒジキを対象として、食品表示基準に基づく主要栄養成分である熱量、たんぱく質、脂質、炭水化物、ナトリウム、水分、灰分、食塩相当量を測定した。いずれの乾物食品においても、超純水で水戻した場合と、4 mg/L オゾン水で水戻した場合の主要栄養成分値には有意な差は見られなかった (表 1)。

表 1 シイタケ、ワカメ、ヒジキの水戻し後の主要栄養成分

検査項目	シイタケ			ワカメ			ヒジキ		
	超純水戻し	オゾン水戻し	参考値	超純水戻し	オゾン水戻し	参考値	超純水戻し	オゾン水戻し	参考値
熱量 [kcal/100 g]	26	29	42	12	11	11	20	20	149
たんぱく質 [g/100 g]	2.7	3.3	3.2	1.6	1.5	1.7	1.8	1.7	9.2
脂質 [g/100 g]	0.7	1.1	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.6	3.2
炭水化物 [g/100 g]	8.8	8.7	16.7	3.4	3.3	3.1	7.3	7.1	58.4
ナトリウム [mg/100 g]	1	2	2	260	220	540	84	83	1800
水分 [g/100 g]	87.4	86.4	79.1	93.5	93.9	93.3	89.1	89	6.5
灰分 [g/100 g]	0.4	0.5	0.5	1	0.9	1.5	1.5	1.6	22.7
食塩相当量 [g/100 g]	>0.01	>0.01	0	0.66	0.56	1.4	0.21	0.21	4.7

※参考値は日本食品成分表 2018 (七訂本表) より引用

4. まとめ

人間は、物を食べる時、味、形状、色、香り、食感 (テクスチャー)、咀嚼音などの様々な要素によって食品を味わっている。近年、食味における食感の重要性が注目されており、味や匂いと同様に食感に関する研究も盛んになってきている。また、最近では消費者の健康意識の高まりなどから「栄養素」も注目を集めている。これらは、食品のおいしさや価値に大きな影響を及ぼす因子であるが、調理に伴って変化することが知られている。そこで本研究では、乾物の水戻しに超純水およびオゾン水を用いた場合の食感および栄養成分の相違について比較検討した。その結果、オゾン水戻し後に加熱した乾物食品において、超純水で水戻した場合よりも良好な食感が数値的に得られた。これまでにオゾン水を用いて乾物食品を水戻しし、食感変化について官能試験を行った報告例がないことから、今後はヒト官能試験の実施も視野に入れて検討すべきであると考えられる。主要栄養成分については、水戻しにオゾン水を使用した場合と超純水を使用した場合を比較しても、ワカメ、シイタケ、ヒジキの主要栄養成分に差が見られないことが明らかとなった。このことから、水戻しにオゾン水を用いた場合でも、栄養素がオゾンによって酸化、溶出され、消失してしまうことが無いことが明らかとなった。一方で、ヒジキ中のヒ素溶出速度はオゾン水による水戻しで早まった。今後は、主要栄養成分以外の成分についても追究する必要がある。