

特集 — 中高生のための高圧科学入門 —

食品と高圧科学

High Pressure Science for Food

笹川 秋彦

Akihiko SASAGAWA

Until recently, the factor that has played a predominant role in food processing was not “pressure” but “heat”, although both factors are independently responsible for transforming the state of a substance. Food processing can be achieved without any cleavage of covalent bond contained in the ingredients of food. Moreover, high-pressure treatments are considered to be very promising for food processing of the future. This is because decomposition of nutrients and production of stench can be minimized more effectively and energy consumption can be reduced more efficiently when compared with heat treatment. Further, when a food product in a container is subjected to high-pressure treatment, uniform processing throughout the food can be guaranteed.

[food processing, High-Pressure Induced Transformation (Hi-Pit), denaturation, sterilization]

1. はじめに

圧力は、温度とともに私たちの生活空間を支配しているパラメーターのひとつである[1]。圧力が高くなるにしたがって、物質の状態は気体から液体、液体から固体へと変化し、より体積が小さく、密度が高い状態に変化する。したがって、圧力効果を考える場合には、常に体積変化に注目する必要がある。

この体積変化は圧力が食品分野に利用できることを示している。その証明に1914年にブリッジマン(P.W. Bridgman)が行った、卵に圧力処理を施した実験を紹介しよう。

Fig. 1は生卵に400 MPa×10分または700 MPa×10分の圧力処理、63°C×30分または100°C×10分の加熱処理を施したものである。

生卵(a)に室温で700 MPaの静水圧を10分間施しても、卵殻の外観はほとんど影響を受けていないことが分かる(b)。水中で処理をするために被験体(生卵)に対して、パスカルの原理によって、水圧が均等に伝わるからである。700 MPa下では、水は16%の体積が減少する。三乗根で開けば、一軸当たり2.5%にしか過ぎないので、卵の殻は割れ難い。中身を見ると、生卵(c)は液体であるが、400 MPaの処理(d)によって黄身が固まる。63°C

加熱処理を施したものである。63°C

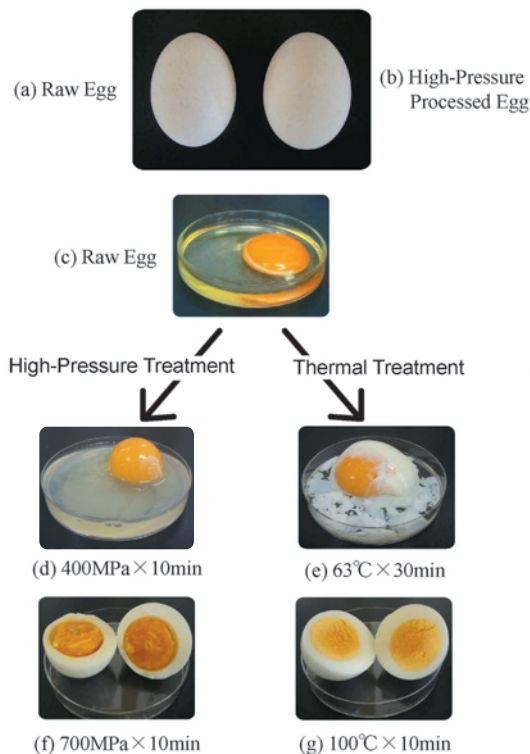


Fig. 1. State transformation of egg (Comparison of high pressure process with thermal treatment).

〒947-0193 新潟県小千谷市高梨町 1003-1 越後製菓株式会社 総合研究所
Research Institute, Echigo Seika. Co., Ltd., 1003-1 Takashi-machi, Ojiya, Niigata 947-0193
Electronic address: a-sasagawa@echigoseika.co.jp

の熱処理 (e) では、自身が先に固まることから、熱と圧力では、異なるタンパク質の変性が起こることが理解できる。さらに処理条件を高くすると、700 MPa では白身も固まる (f)。また、100°C では黄身が固まり、いわゆる熱処理の卵の場合は「茹で卵」となる (g)[2]。

加圧処理を施した卵 (f)・(g) の状態は以下のようになる。

○色の変化

白身の部分は固まって白く不透明で、茹で卵と区別はつかないが、中央で輪切りにしてみると、固まった黄身の色は鮮やかで、茹で卵のように白っぽくない。

○香り・食感・味

茹で卵のような独特の硫黄臭はなく、生卵の香りがする。噛んでみると、しっかりと固まっているにもかかわらず、白身も黄身も、茹で卵の歯触り舌触りとはまったく違う。崩れる感じではなく、軟らかいが腰がある。指で触るとしなやかで、押し潰そうとしても崩れない。味は生卵の味がする。要するに圧力では、生のまま固まるのである。

○消化性・ビタミン損失

プロテアーゼを用いる人工消化試験によると、茹で卵に比べて消化性はずっとよく、また、科学分析によりビタミンの損失は検出されない。

以上のことより、食品の風味や栄養価を損なわない、加熱に代わる新しい食品加工法としての圧力利用の可能性が示唆された。

2. 高圧科学を食品に利用した際の利点

ブリッジマンの卵を使った実験で明らかとなったように、圧力は食品分野での利用が可能な技術である。しかしながら、人類の歴史において食品の調理・加工には圧倒的に熱が利用されてきている。それは自然界に存在し得ない圧力を作り出すよりも、熱を利用するほうが容易だからである。

では、なぜ圧力を食品加工に使うとするのだろうか。それには次のような理由が挙げられる。

- 200 MPa 以上の圧力によって細菌、カビ、酵母、ウィルスなどは死滅もしくは損傷する。
- 400 MPa 以上の圧力によって多くの酵素の活性が低下する。

- 1,000 MPa 程度の圧力では、共有結合の切断や生成は起こらないといわれている。

100°C 程度の加熱によっても同様の効果が認められるが、圧力による食品加工は栄養素の破壊、異臭の発生および異常物質の生成が少ない。つまり、高圧処理は安全を求め、生の風味を尊ぶ食品に対してきわめて有効な食品加工技術なのである。

さらに、圧力の維持には理論的にはエネルギーが不要で、熱とは異なり食品の内部まで瞬時に圧力が伝わる。すなわち、省エネルギーでの処理が可能で、処理時間が食品の形状に左右されずに、食品加工・殺菌・保存期間の長期化などが図れるのである。

逆に、熱処理で起こる有用な変化を高圧処理では期待できない場合もある。たとえば、高圧処理を肉製品に施しても焦げ目をつけることはできないし、香ばしい匂いがすることもない。つまり、従来の熱処理をすべて高圧処理に変えられるわけではないのである。

食品分野における高圧処理の効果としては、前述のほかにも次のようなことが挙げられる。

- タンパク質の一種である酵素を失活させ、食品中の有用成分が酵素により分解するのを防止できる。
- 食品組織を適当に破壊することにより酵素が作用しやすくなり、有用成分が増加することが期待される。
- 食品を汚染する微生物の殺菌、寄生虫の殺虫により、食品の腐敗を防止することが期待される。

以上のように、高圧処理が食品に及ぼす効果は殺菌に留まらず、品質保持や栄養成分の増加など様々ある。最後に高圧処理で得られる特徴をまとめておく。

高圧処理で得られる特徴

- ① 寄生虫・細菌・カビ・酵母・ウィルスなどに対し、殺菌力が均一に作用する
- ② 風味の劣化や栄養素の破壊が少なく、他の処理に比べて安全性が高い
- ③ タンパク変性を利用した素材の結着や食感の改良
- ④ デンプンの糊化・老化に関する物性の変化
- ⑤ 穀物の果皮・種皮・細胞壁や生物の細胞膜などの組織破壊による抽出・含浸作用や、酵素反応の向上による成分富化
- ⑥ 圧力保持にエネルギーが不要で、差圧回収によ

る省エネルギー化が図れる

3. 高圧科学を利用した食品

わが国では、1987年に林力丸京都大学助教授(当時)によって高圧の食品加工への応用が提唱され[3, 4], 1989年に農林水産省の支援のもとに食品産業超高压利用技術研究組合が組織されるまで、食品への高圧技術の利用はほとんど省みられることがなかった。その後、高圧による食品加工は、にわか

に世界の注目を浴びるようになった。当初は、主としてタンパク質や酵素の圧力変性に関する研究や、微生物の殺菌の研究がなされていたが、研究が進むにつれ細胞や生体分子レベルでの基礎研究や、バイオテクノロジー、生物物理学、医学、薬学分野へと広がりを見せている。

食品への応用では、微生物制御とともに、タンパク質の変性、酵素の失活や反応制御、脂質の乳化、含有気体の排除、液体の含浸、組織の結着や破壊の減少などを利用した新しい食感を有する製品の開発が進められている。1990年には圧力を使用する初めての食品としてジャムが誕生し、その後、ジュースや果実加工品が市場に出回るようになり、現在では無菌包装米飯をはじめ、高圧を利用した食品群が数多く登場するようになった。ここでは、市販されている高圧科学を利用した製品を例にとって高圧加工技術の利点を紹介していきたいと思う。

3.1 高圧加工ジャム[5, 6]

味を整えることと、果実加工品としての保存性を高めることが、ジャム調理の目的である。従来の製法では、果実を砂糖・ペクチン・酸味料とともに加熱し、冷却工程を経て製品化するのだが、加熱調理により果実本来の風味・色調・栄養成分の一部の破壊や変化が起こるため、果実の新鮮な風味や色調を食卓に届けることはできなかった。

加圧法によるジャムの製造は、果実と砂糖およびペクチンなどの混合物を常温下でプラスチックの加圧可能な容器に充填、密封後、高圧処理を行って製品とする。高圧処理により、果実と砂糖およびペクチンの混合物はゼリー化が促され、果肉への糖液が浸透する。また、同時に微生物に対する殺菌が行われる。加圧処理ジャムでは、すべての工程が無加熱で行われるため、加熱製法に見られるような内容物の熱変性や熱分解が起こらず、果実本来の新鮮な風

味と色調を製品まで維持できるようになった。

高圧加工ジャムは、世界で始めて商品化された高圧加工食品である。

3.2 高圧加工よもぎ餅[7, 8]

餅の歴史は古く、わが国では五穀豊穡を祈る神事に奉納されたことにはじまり、かき餅、丸餅、切り餅として各家庭で作られ、食されてきた。しかし近年では、核家族化や生活スタイルの変化により、大部分の餅が食品工場で生産されるようになった。消費者の意識の向上に伴い、異物や細菌混入などの危険性を排除した製品が望まれ、さらに、ヨモギや豆といった副材料の入った多様な味の餅が求められている。その上、高級志向・低価格といった、幅広いニーズに対応する必要がある。

よもぎ餅に使用するヨモギは、葉緑体を変色させる酵素(ポリフェノールオキシダーゼ)を失活させるために、前処理として0.3%の重曹水溶液中で100°C、30秒間の煮沸を行う(この操作をブランチングという)。その後、400 MPaで40~60°C、10分間の高圧処理により殺菌を行い副材料とする。

最近の加工技術の進歩により、原料米に耐熱性菌を多量に含まない場合に限り、蒸し工程(100°C、30分前後)で殺菌できることから、白餅では無菌製品が作れるようになった。したがって、餅の腐敗に関与する微生物は、ほとんどがヨモギや豆といった副材料に由来するものである。餅の腐敗を防ぐためには、副材料であるヨモギ中の微生物を効果的に殺菌することが必要となる。そのために、高圧処理が用いられるのである。

Table 1は高圧処理による各種微生物の殺菌とそ

Table 1. Effect of high pressure and temperatures on fungi and others.

Fungi and others	Viable counts [cfu/ml]		
	Initial counts [CFU/ml]	pressure 400 MPa, 10 min.	
		20°C [CFU/ml]	45°C [CFU/ml]
<i>Penicillium verrucosum</i>	1.5×10 ⁴	2.0×10 ⁴	0
<i>Rhizopus oryzae</i>	1.5×10 ⁴	1	0
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	6.3×10 ³	0	0
<i>Fusarium oxysporum</i>	5.4×10 ⁵	2	0
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.5×10 ⁴	5	0
<i>Streptococcus Cp22B</i>	9.3×10 ⁴	1.4×10 ⁴	0

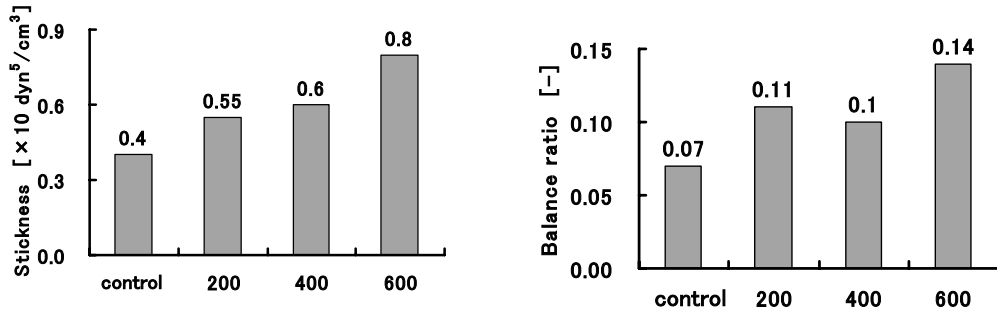


Fig. 2. Comparison of the retraction properties by heating with microwave oven between cooked high-pressure processed rice and cooked untreated rice.

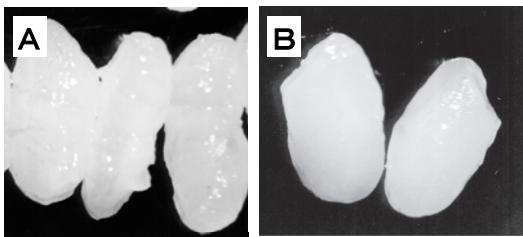


Fig. 3. Appearance of the cooking rice. A: Cooked control rice; The grains of the cooking control rice are elongated. B: Cooked high-pressure-treated rice. Grains of cooked high-pressure-treated rice are similar in to raw rice grain.

の条件である。400 MPa で 20°C, 10 分間の高圧処理を行った場合は、カビの *Penicillium* 属と細菌の *Streptococcus* 属を除き、菌数の減少が見られた。また、45°Cでの高圧処理を行った場合では、試験したすべての微生物の死滅が確認された。

また、餅から分離した *Bacillus subtilis* の芽胞を各種温度で高圧処理をした場合では、初期菌数が約 10^9 CFU/ml (CFU: Colony Forming Unit) であった *B. subtilis* の芽胞は、700 MPa の圧力処理を施しても、45°Cでは約 10^2 CFU/ml の芽胞が残存しており、殺菌が十分ではないことが示唆された。しかし 60°Cおよび 70°Cでは 600 MPa の高圧処理を行った場合は、芽胞数が検出限界以下となった。

これらのことから非耐熱性細菌の殺菌を行う場合であっても、高圧処理と加熱との併用が効果的であることが示唆された。

このように高圧処理の過程を経てヨモギは無菌化され、色や香りに優れたその副材料を用いて、よもぎ餅は商品化された。これらの商品は 1994 年から市場に登場している。

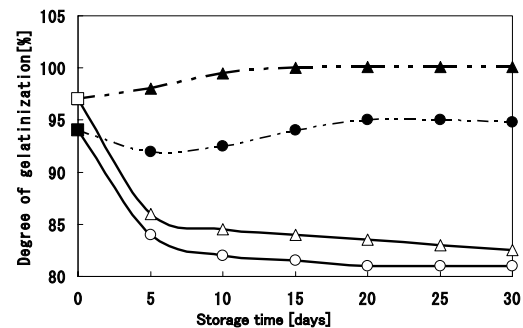


Fig. 4. Changes in degree of gelatinization of cooked high-pressure processed rice with storage time, and the retraction properties by heating with a microwave oven. \square ; cooked high-pressure processed rice (1hour after cooking) \blacksquare ; cooked untreated rice (1hour after cooking) \triangle ; retrogradation of cooked high-pressure processed rice with time \blacktriangle ; retraction properties of cooked high-pressure processed rice by heating with a microwave oven \circ ; retrogradation of cooked untreated rice with time \bullet ; retraction properties of cooked untreated rice by heating with a oven

3.3 高圧加工米飯[8-12]

個包装炊飯米は、浸漬米に高圧処理 (55°C, 200 MPa, 2分) を施して炊飯することによって生産されている。高圧処理を米飯に利用すると、次のような特徴を付与できることが判明した。

- ① 水中に浸漬した精白米に高圧処理を施すと、瞬時に炊飯に必要な吸水が完了する。
→製造時間の短縮により、安価で容易な製造を達成
- ② 高圧処理を施した浸漬米を炊いた「高圧処理玄米飯」は、白飯よりも消化性に優れている。
→歯の脆弱・咀嚼数の減少・食事時間短縮の問題の解決

③ 「高圧処理米飯」の食感は粘弾性に富み (Fig. 2), 煮崩れがなく, 白米の形のまま相似形に炊き上がり, 光沢に優れている (Fig. 3)。→美味しい製品の達成

④ 「高圧処理米飯」は高周波での復元性に優れており, レンジ加熱によって炊飯直後よりも高い糊化度の米飯に復元し, 冷めた場合も美味しい (Fig. 4)。

→歯の脆弱, 食事時間の短縮の問題を解決し, 美味しさ・便利さを付与できる

このように米飯に高圧処理を加えることによって, 従来の無菌包装米飯に比べて美味しく, 便利な製品が安価で容易に製造できるようになった。精白米と同様に, 玄米や八穀米 (玄米丸麦, はと麦, きび, 赤米, 大豆, 黒豆, 小豆を混ぜて炊いた雑穀ご飯) もこの技術を用いて生産されている。通常, 八穀米は穀物の種類ごとに浸漬する必要があるのだが, 高圧含浸技術を用いると一度で八種類の穀物の吸水を短時間で終了することができる。

3.4 高圧加工オイスター[13]

加工用の生ガキは, 熟練した打ち子が専用器具で二枚貝を開き, 貝柱をはがして身を取り出している。しかし, 熟練者でも殻の破片混入は避けられないため, 冷凍カキフライなどの工場では X 線検知が求められたりする。しかし, 200 MPa で数分間処理をすると, 二枚貝は開き, 振るだけで生と遜色ない身が取り出せるようになる。しかも, 高圧を用いれば, 殻片のリスクが低減するだけでなく, 作業効率が大幅に向上する。これは広島ですでに実用化されている。

これらの新技術では超高圧よりもやや低い「中高圧」とも呼べる圧力が利用されている。装置コストを低減し, 技術を広く活用するためには, できる限り低い圧力を利用する技術の開発が重要となる。

4. Hi-Pit 効果を利用した製品

圧力処理を利用した食品の加工法に関する研究が, 本格的に始まって 15 年以上が経過した。研究当初は, 圧力処理を単独で利用し, 食品を加工する研究が行われていた。この時期は第 1 期と位置付けられ, この研究により, 非加熱殺菌製法として, ジャムやよもぎ餅などに圧力処理を施した商品が市販化された。

その後, 殺菌効果に加えて, 圧力が熱と同質の状態変換因子であることを利用し, タンパク質やデンプンなどの物質を改質し, 新しい物性の食品を創造する研究が行われた。電子レンジで加熱すると, 炊きたてを超える糊化度を示す「米飯」やもち米のような食感の「玄米ご飯」や「雑穀ご飯」, またハム・ソーセージなどが製品化された。熱と圧力処理との併用による研究が行われ, この時期は第 2 期と称される。

近年, 高圧力による効果と他の物理的, 生物的, 生化学的効果とを組み合わせる新しい現象を誘引し, 物質を新しい形質に転換する研究が始められている。例を挙げると, 高圧処理により食品中に含まれる組成(薬理成分)を増加させるなどの新しい機能性食品の開発などである。この『圧力処理により誘引される形質転換を利用して食品を加工する方法 (High-Pressure Induced Transformation; 以下, Hi-Pit と略す)』は, 今後の実用化研究の主流となる分野として期待されている。以下にこの Hi-Pit を利用して, 商品化に成功した事例を紹介する。

4.1 GABA 富化玄米[14]

発芽玄米は, 玄米と比較して炊飯が容易で, 食べやすいという特徴があり, 血圧上昇を抑制する作用のある γ -アミノ酪酸 (GABA) や, 便通に効果のある食物繊維が多く含まれており, 発芽玄米の市場は拡大傾向にある。なお, 発芽玄米は酵素活性が高い時期に生化学反応を停止させ, 生成した機能性成分や栄養分等を米粒内に留めたものであるが, 精白米に比べ, 硬さ, 粘り, 臭い, 食感等がやや劣るとの指摘がある。また, 発芽工程では, 30°C で約 48 時間程度の浸漬を必要とするため, 除菌または殺菌を目的とした微生物の制御法が検討されている。

現在, 玄米に 400 MPa の高圧処理を施すことで, 吸水が早く, 一般生菌数が 10 CFU/g, GABA の蓄積量が原料玄米の 2 倍である加工玄米を得ることに成功している。しかし, この加工法は浸漬水に GABA が溶出するため, 浸漬水と玄米と一緒に乾燥させなければならないこと, および発芽玄米に比べて GABA の蓄積量が少ないことが短所として挙げられる。そこで, 更に高圧処理を利用した加工法を改良したところ, 下記の結果が得られた。

(1) 玄米の表面を 1% 研削した玄米に, 25°C で 200 MPa の高圧処理を 5 分間施し, 継続して 1 時間浸漬後に水切りし, 25°C の飽和温度下で

Table 2. Contents of GABA and glutamic acid in brown rice products.

	(mg/100g brown rice on dry basis)			
	GABA		Glutamic acid	
Control (Rice milled to 99% yield)	6.0 ± 0.29	^a	21.2 ± 0.39	^a
Product A (Commercially available normal brown rice)	8.2 ± 0.25	^b	11.3 ± 0.64	^b
Product B (Pre-germinated brown rice)	11.8 ± 0.58	^c	6.9 ± 0.45	^c
Product C (Pre-germinated brown rice)	6.9 ± 0.51	^d	7.2 ± 0.35	^c
GABA-increased brown rice (Our product)	21.0 ± 0.39	^e	7.3 ± 0.28	^c

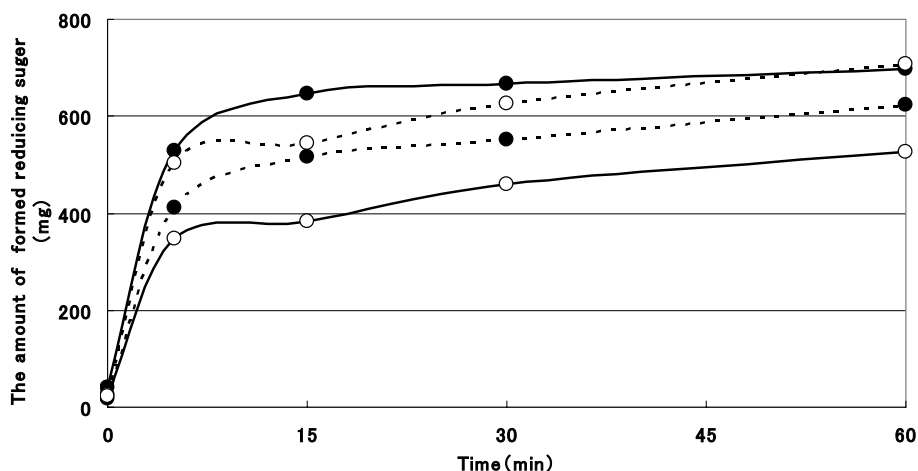


Fig. 5. Digestibility of cooked brown rice products judged from the amount of reducing sugar generated.

18 時間静置させることにより、原料玄米の GABA の蓄積量 (6.0 mg) と比べて 3 倍以上の GABA を富化することができた (Table 2)。

- (2) GABA 富化玄米は、市販の加工玄米よりも GABA を多く含み、総フェルラ酸やオリザノールなどの機能性成分も保たれていた。
- (3) 玄米よりも GABA 富化玄米のほうが、消化の速度が速いことから、GABA 富化玄米は咀嚼後のデンプン分解酵素が働きやすい玄米飯であることが示唆された (Fig. 5)。
- (4) 官能検査において、発芽処理を施していない市販品 A と比較して、GABA 富化玄米は遜色ない食味であったが、市販の発芽玄米は、玄米に比較して外観、香り、味において劣るため、低い結果であった。

このようにして、玄米を発芽させずに GABA の蓄積量を増加させる「GABA 富化加工法」を確立し、工業的にコスト面と作業性で不具合が少ないよ

り作業性の向上した GABA 富化玄米を作成することが可能となった。

4.2 八穀麴と八穀麴味噌[15]

味噌は日本の伝統的な発酵食品であり、国内では主に米味噌、麦味噌、豆味噌が醸造されている。近年、ソバやきび、あわなどの穀物を麴に用いた味噌、蒸米と蒸煮大豆の混合麴を用いた味噌といった、特色ある味噌の醸造方法について検討がなされている。

味噌製造時、精白歩合が 95% 以上の精白米を麴の原料として使用した場合、破精 (はぜ) 回り、破精込みが悪いことや、玄米を用いて製麴 (せいきく) した場合、酵素活性値やその状貌から麴菌が繁殖しづらいことが、新たな味噌開発の障害となっていた。

そこで、高圧処理で穀物の組織破壊を誘引し、穀物の表面粗度を高くして、麴菌が着床しやすい形質に転換させ、その後に味噌の製麴を行う機能性味噌の醸造が行われている。これは、玄米などの穀物に

Table 3. Comparison of useful nutrient contents in *hakkoku koji miso* and *rice koji miso* product (thin-colored).

Content/100 g miso	Free amino acid (mg)	Dietary fiber (mg)	Calcium (mg)	Iron (mg)	Thiamin (mg)	SOD (U)
Rice koji miso	3,165	2,600	47.5	2.4	0.08	15,000
Hakkoku koji miso	4,485	3,000	71.9	3.1	0.18	33,420
Ratio	1.4	1.2	1.5	1.3	2.3	2.2

高圧処理を施すことにより、種付けした麹菌の生育が向上するのではないかとの考え方に基づいたものである。

八種類の穀物（玄米・大麦・はと麦・きび・赤米・大豆・黒豆・小豆）を搗精や脱皮をせずに圧力処理を施して、麴およびその麴を使用した味噌の機能性成分を定量した。その結果は以下の通りである。

- ① 圧力処理を施し、吸水させた後に蒸した8種類の穀物を原料とした八穀麴は、製麴により麹菌糸の良好な伸延がみられた。八穀麴の酸素活性について、酸性・中性プロテアーゼの活性は一般の米麴の力価と同等であり、アルカリ性プロテアーゼの活性は麦麴と同等であった。
- ② 八穀麴味噌の熟成において、酸度Iの上昇、pHおよびY値の低下、エチルアルコールの生成が見られ、良好に発酵が進んだ。玄米や赤米、麦類などは糖化して通常の米味噌のように味噌中に溶け込んだ。
- ③ 八穀麴味噌は、市販の淡色系の米味噌に比べ全粒を使用するので、機能性成分が多く含まれていた（Table 3）。味噌の外観は、黒豆や小豆、赤米の麴の表皮が残り、彩りが良く、味は濃厚な旨みと穀物独特の香りを感じた。

現在この製法を用いて製造された味噌は、「八穀こうじみそ」という商品名で販売されている。

5. おわりに

飽食の時代も過ぎ、食に対する最近の社会的ニーズは、「安心」・「安全」・「健康」・「高齢化」が主眼となっている。また、利便性優先の消費型社会の反省から、5つ目のキーワードとして、さらに「環境」を踏まえた新しい食材加工の形態が模索されている。このような社会的背景を踏まえ、食品製造は行われなければならない。

最後に紹介した製品に代表される、食品に対するHi-Pitの利用は、社会的ニーズのキーワードである「安心」、「安全」、「健康」、「高齢化」に対する解決策になりうる。Hi-Pitを利用することによって薬理

効果の富化や、殺菌・失活作用、効果的な抽出などができるようになるためである。このHi-Pitは食品業界のみに留まらず、様々な業界に貢献が期待されている。先ほど挙げた製品を例にとると、低アレルゲン化米飯は低アレルゲン化食品製法の開発で医療業界に、GABA富化玄米は薬理活性成分富化技術の確立で健康食品業界に貢献できると考えられる。林力丸氏によって提唱された「状態変換因子」である圧力は、熱と共に酵素の働きを制御することで、「食品の組成をも変換し、食品を医薬品へと変換する因子」として大きく再評価されているのである。

エネルギー消費について加熱法と加圧法を比較した場合、水を数千気圧に加圧するエネルギーは同量の水の温度を数十℃上げるのに要するエネルギーの1/10程度である。しかも加熱法で製品自体の加熱に使用されるエネルギーは全エネルギーの30～40%程度しかなく、大部分が周囲に失われる。このようにエネルギー消費に関しても加圧法は加熱法に比べてはるかに経済的である[16]。したがって高圧処理技術は、省エネ、炭酸ガス抑制の意味からもクリーンな技術であり、ますます関心が高まっている環境問題に対して解決の一翼を担えるのではないかと期待が持たれている。

殺菌作用が期待されていた圧力処理研究の黎明期以来、食品に対して圧力が持つさまざまな効果が明らかになってきた。今後、従来の食品機能と一線を画した、人類に役立つ新しい食品が開発され、21世紀の食文化の中心を構築すると確信している。

謝 辞

本論を執筆するに際し、ご尽力いただいた川村梨子女史に深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 守時正人: 食品への高圧利用, 林力丸編 (さんえい出版, 京都, 1989), 第9章, p. 157.
- [2] 林力丸: 食品への高圧利用, 林力丸編 (さんえい

- 出版, 京都, 1989), pp. 1-29.
- [3] R. Hayashi, Y. Kawamura, S. Kunugi: *Food Scy.*, **52**, 1107 (1987).
- [4] 林力丸: *食品と開発*, **22**, 55 (1987).
- [5] 堀江雄, 木村邦夫, 井田雅夫, 吉田泰博, 大亀邦仁: *高圧科学と加圧食品*, 林力丸編 (さんえい出版, 京都, 1991) p. 336.
- [6] 木村邦夫: *日農化誌*, **74**, 616 (2000).
- [7] 山崎彬, 笹川秋彦, 杵淵美倭子, 山田明文: *高圧バイオサイエンス*, 功刀滋, 嶋田昇二, 鈴木敦士, 林力丸編(さんえい出版, 京都, 1994) p. 328.
- [8] 山崎彬, 笹川秋彦: *日農化誌*, **74**, 619 (2000).
- [9] A Sasagawa, A. Yamazaki: in *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology*, ed. R. Hayashi (Elsevier Science B.V., Amsterdam, 2002), p. 375.
- [10] 山崎彬: *高圧力の科学と技術*, **6**, 182 (1997).
- [11] 杵淵美倭子: *科学工学*, **61**, 327 (1997).
- [12] 山崎彬, 笹川秋彦: *日食科工誌*, **45**, 526 (1998).
- [13] 室越章: *日本水産学会誌*, **70**, 671 (2004).
- [14] 笹川秋彦, 内木由美子, 長島誠一, 山倉美穂, 山崎彬, 山田明文: *J. Appl. Glycosci.*, **53**, 27 (2006).
- [15] 笹川秋彦, 五味正浩, 大浦克彦, 山崎彬, 山田明文: *FSTR*, **10**, 485 (2005).
- [16] 堀恵一: *食品流通技術*, **18**, 12 (1988).

[2007年3月7日受理]
© 2007 日本高圧力学会