

特集 — 生体関連物質と水溶液の高圧力科学 —

高圧処理により誘引される 形質転換 (Hi-pit) を利用した加工食品の開発

Development of Food Products Using High-Pressure Induced Transformation (Hi-pit)

笹川 秋彦*

Akihiko SASAGAWA*

山崎 彬

Akira YAMAZAKI

In recent years, significant progress has been made in research into applications of the high-pressure treatment method. This is because it has been demonstrated that the effects of high-pressure treatment can induce additionally new phenomena when used in combination with other physical, biological, biochemical effects. Incrementation or extraction of food composition and selective inactivation of microbe by using the difference of pressure tolerance are enumerated in the concrete example. Therefore, food products using high-pressure induced transformation (Hi-pit) will contribute to various food industries such as the medical treatment, health food, brewing, fermented food, and food service industry.

[food production, high-pressure induced transformation (Hi-pit)]

1. はじめに

高圧処理を利用した食品の加工方法に関する研究が、本格的に始まって20余年が経過した。食品加工に圧力の利用が提唱された黎明期前には、殺菌を主な目的とした研究が数多く行われ、種々の加圧条件における膨大な基礎データを得た。当初の、高圧処理を単独で利用し、食品を加工する研究が行われたこの時期は、第1期と位置付けられる。この研究により、非加熱殺菌法として、高圧処理を施したジャムやジュース、ヨモギ餅（ヨモギのみを高圧処理）[1]などの食品が市販化された。

その後、殺菌効果に加えて、圧力が熱と同様な物質の状態変換因子であることを利用し、デンプンやタンパク質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。大型・安価な全自動バッチ連続式の高圧処理装置[2]が開発されたことを契機に、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「白飯」[3]や、もち米のような食感の「玄米飯」や「雑穀飯」[4]、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関する

研究が行われたこの時期は、第2期と称される。

さらに近年、高圧力による効果と他の物理的・生体的・生化学的効果とを組み合わせることで、物質の組織的破壊や微生物の不活化といった現象を誘引し、被検体を新しい形質に転換する研究が進められている[5]。著者らは、第3期の高圧力利用法として『高圧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 と称す)』を確立し、省エネ・食品リサイクルの観点から新しい食材の加工方法としての利用を試みてきた。そしてHi-pitを利用することで薬理効果の富化や、殺菌・不活化作用、効果的な抽出などができるようになることから、種々の食品産業への応用を検討した。

2. Hi-pit による内在酵素を利用した食品組成の変換

食品に酵素が内在する場合、高圧処理によって酵素の働く環境を変化させ、有用組成を増加させることができる。環境の変化は複雑だが、細胞壁の破壊

〒947-0193 新潟県小千谷市高梨町 1003-1 越後製菓株式会社 高梨工場内 総合研究所食品研究室
Research Institute, Echigo Seika. Co., Ltd., 1003-1, Takanashi-machi, Ojiya, Niigata 947-0193

*Electronic address: a-sasagawa@echigoseika.co.jp

によって、基質との会合や水の浸透が促進され、さらに反応の障害となる気泡が排除されることから、酵素反応を活性化させることができる。ここでは既に産業化している例も含め、高圧処理を利用した食品組成の消長について取り上げた。

2.1 GABA 富化玄米[6]

玄米にはビタミンやミネラル、食物繊維が豊富に含まれるため、健康食品として用いられるが、食味の観点から精白米が好まれることも多い[7]。

一方で、発芽玄米は玄米に比べて炊飯が容易で、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）や便秘解消の効果がある食物繊維を多く含むことから、発芽玄米の市場は拡大傾向にある[8]。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、精白米と比較して、硬さ、粘り、香り、食感等が若干劣るとの指摘がある[9]。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[8, 10]ことから、除菌ないし殺菌を目的とした微生物の制御法が検討されている[10]。

以前の研究[11, 12]により、玄米に400 MPaの高圧処理を行うことで、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倍である加工玄米が得られると判明した。しかし、この加工法では浸漬水にGABAが溶出するため、浸漬水と玄米とを一緒に乾燥させなければならないことや、発芽玄米と比較してGABAの蓄積量が少ないことが短所として挙げられていた。そこで、高圧処理を利用した加工法をさらに改良したところ、以下の結果が得られた。

- ① 表面を1%研削した玄米に、25°Cで200 MPa、5分間の高圧処理をし、継続して1時間浸漬後に水切りし、25°Cの飽和湿度下で18時間静置

させることにより、GABA蓄積量を原料玄米（6.0 mg/玄米100 g）の3倍以上に富化させることができた（Table 1）。

- ② GABA富化玄米は、市販の発芽玄米よりもGABA含有量が多く、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 玄米と比べると、GABA富化玄米の方が消化される速度が速いことから、GABA富化玄米は咀嚼後にデンプン分解酵素が働きやすい玄米飯であると示唆された。
- ④ 官能検査の結果、GABA富化玄米の食味は、発芽処理を施していない市販品と遜色がなかった。それに対し、市販の発芽玄米は外観、香り、味において玄米よりも劣るため、低い評価となった。

このようにして、高圧処理により玄米の組織破壊を誘引し、米の内在酵素（GABA生成酵素）と内在基質（グルタミン酸）が容易に会合できる形質に転換させ、その後に静置操作を行うことで、酵素反応が促進し、GABAが増加することを見出した。工業的にコスト面と作業性で不具合が少ない「GABA富化加工法」を確立し、現在、簡易炊飯が可能で栄養価の高い加工玄米として販売している。

2.2 各種食品の機能性成分への影響

植物中に含まれるビタミンC（以下、AsAと略す）はグルコースを基質として、9つの酵素反応を経由し、AsAに生合成される。ジャガイモとアボカドはAsA含有量があまり多くない食品であるが、高圧処理により酵素反応を促進し、AsAの富化が可能であるか検討した[13]。

まず、ジャガイモについては、100 MPaの圧力処理直後ではAsAの増加とグルコースの減少がみられたが、それよりも高圧で処理を行うとAsAが減少する傾向にあった。また処理後9日目までAsA

Table 1. Contents of GABA and glutamic acid in brown rice products.

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

含有量を測定したが、200 MPa以上の処理では、9日目には初発のAsA含有量よりも減少していた。AsAはアスコルビン酸オキシターゼ（以下、AAOと略す）によって酸の分解を受けることが知られており、AsAの合成と分解の両反応が混在した中で200 MPa以上の高圧処理を行うことにより、AAO等の分解酵素が生成酵素よりも優勢に反応したものと推察される。

次に、アボカドは熟成の程度によりAsAの含有量が異なり、熟成するとAsAが増加し、過熟になるとAsAが減少した。このことより、未熟の場合はAsA生成酵素とAAO等の分解酵素のどちらも活性が高く、過熟では双方の酵素系の活性が弱まっていることが示唆される。700 MPaの高圧処理2日後には、未熟のアボカドでAsAが3倍も増加したが、その後の保存により減少し、初発と同量になった

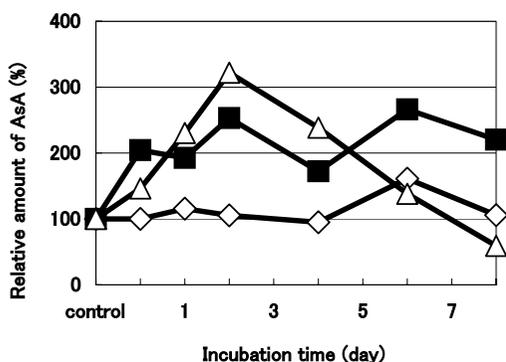


Fig. 1. Changes in relative amount of AsA in avocado pear. ◇, control; ■, high-pressure treatment at 50 MPa for 5 min; △, 700 MPa for 5 min.

(Fig. 1). なお、AsAを生成する酵素反応は50 Mpaの処理でも十分に蓄積効果があると判明した。

ニンニクは古来より滋養強壯の目的で民間薬として親しまれてきたが、近年、動脈硬化や癌の予防という観点からも注目を集めている。それらの生理活性は、ニンニクの特徴成分であるアリイン、アリシンなどの有機硫黄化合物によってもたらされている。アリインは、鱗片の細胞を傷つけることで、C-S リアーゼという酵素によりアリシンに生合成される。アリシンは抗菌、抗真菌、抗ウイルス、抗原虫、抗寄生虫効果をもつ。そしてアリシンはビタミン B₁と結合するとアリチアミン、俗にいうアリナミンとなり、ビタミン B₁の吸収を助ける働きをする。なお、アリシンは熱的に不安定な物質であるため、熱分解してジスルフィドやトリスルフィド、アホエン、ニルジエチン類など別の生理活性をもった物質へと変化する。したがって、アリインからの酵素反応により生成する中間体のアリシンを富化することで、それを前駆体とするさまざまな生理活性成分を増加させることができる。ニンニクは摩り下ろすことで酵素が働き、アリインの減少とともにアリシンが生成するが、食材としての多様性が劣ってしまう。そこで、高圧処理により、外観を変化させることなく有用成分を増加させることができるか検討したところ、400 MPa以上の高圧処理によりアリインが減少し、アリシンが生成された。摩り下ろしニンニクと比較するとアリシンの含有量は少ないものの、丸粒の状態では、基質のアリインを残したままアリシンを増強することが可能となった。加圧により細胞が十分に破壊され、アリインとC-S リアーゼの反応が

Table 2. The optimum condition for increase useful components of food. Temperature and time shows the conditions when leaving it sitting after high-pressure treatment.

Food	Substrate	Active principle	Pressure (MPa)	Temperature (Celsius)	Time
Brown rice	Glutamic acid	GABA	200	25	18 hours
Potato	Glucose	Vitamin C (AsA)	100	10	9 days
Avocado	Glucose	Vitamin C (AsA)	700	10	2 days
Garlic	Alliin	Allicin	600	10	9 days
Soy bean	Protein	Peptide	400	40	8 hours
Kelp	Protein	Amino acid	50	4	2 hours
Shiitake	Ribonucleic acid	Nucleic acid	100	60	24 hours
Tomato	Isopentenyl diphosphate	Lycopene	400	20-25	24 hours

促進したと考えられる。また 600 MPa の処理ではアラインの減少を抑えながらアリンを増加させることができた。このことより、600 MPa の圧力によって C-S リアーゼが部分的に変性している可能性が示唆された[14]。

大豆は、栄養成分に優れた農作物であり、わが国では昔から様々な加工食品へと広く利用している。大豆の有用成分のひとつとして注目されている大豆ペプチドは、血中コレステロール低下作用[15] や血圧上昇抑制作用[16] など多くの生理機能をもつことが報告されている。

浸漬した大豆に浸漬水ごと高圧処理を施し、その後常圧下で大豆の内在酵素が働く時間を設けてペプチドの経時的变化を測定した結果、400 MPa の高圧処理をした際に浸漬水においてペプチドが著しく増加することが明らかとなった。加圧により大豆種子中の液胞の崩壊が生じ、加水分解酵素と基質が会合しやすくなり、タンパク質分解が促進されたものと考えられる。

上記した食品を含め、これまでに研究された食品の有用成分増強に関する最適条件を Table 2 に示した。有効成分やそれを含有している食品によって最適条件が異なることが明白となったが、これを予測し、使い分けることができるようになれば益々の発展、活用が期待される。

3. Hi-pit を利用した食品組成の抽出

食品に高圧処理を施すことで組織的破壊がおり、含有成分の抽出操作が容易な形質に転換されることを利用して、食品からの有用成分の効率的な抽出や、または有害成分を取り除くことが検討・応用されている。

有害成分の選択的な除去例として、米の低アレルギー化がある。米のアレルゲン物質については、近年精力的に解明され、塩可溶性タンパク質であるアルブミン及びグロブリン中の分子量 14, 15.5, 16 kDa のタンパク質 (1 モル食塩水抽出物画分) が主体であることが認められており、さらに分子量 16 kDa のタンパク質については、精米 1 g に対して 0.39 mg 程度含まれていることも見出されている[17]。

従来の低アレルギー化の方法の一つとして、塩溶液による塩可溶性タンパク質抽出除去があるが、無処理の精白米をそのまま塩溶液に浸漬するだけでは、表面部分は抽出されるが、芯部分は未抽出となって

しまう。そのため、高圧処理により米粒の中心部への抽出液の含浸を容易にし、アレルゲンの粒外への排出を試みた。この方法で得た低アレルギー米を用い、その有用性を検討した。ただし、タンパク質は加熱や高すぎる静水圧処理によって変性し、抽出されにくくなり、溶解度が変化する可能性があるので、炊飯前の米粒について分析を行った。

低アレルギー米を粉碎し、Matsuda ら[17] の方法に従って、米のタンパク質をそれぞれの画分に分けて定量した結果、未処理米と比較して、塩可溶性タンパク質の画分が 95% 除去されていた。Fig. 2 に RAST Inhibition 法により、当該抽出物に残存している米抗原の相対量を米アレルギー患者の血清を用いて測定した結果を示す。ここで、横軸は米抽出物の濃度を示し、縦軸の抑制率は IgE 抗体と反応する米抗原量とみなすことができる。普通の米では、10 倍、100 倍と希釈を重ねて濃度を低下させていくと、抑制率もそれに伴い減少した。ここで、希釈を行っていない低アレルギー米抽出液の抑制率は、10,000 倍に希釈した未処理米の抑制率よりも低くなっている。すなわち低アレルギー米の抗原量は、普通の米の 1 万分の 1 以下に低減していることがわかる。

この低アレルギー米は多施設による臨床試験[18] や CAST 法を用いた低アレルギー米の評価[19]、プラシーボとしての有用性[20]、二重盲検法を用いた評価[21]、さらには低アレルギー米の摂取による口

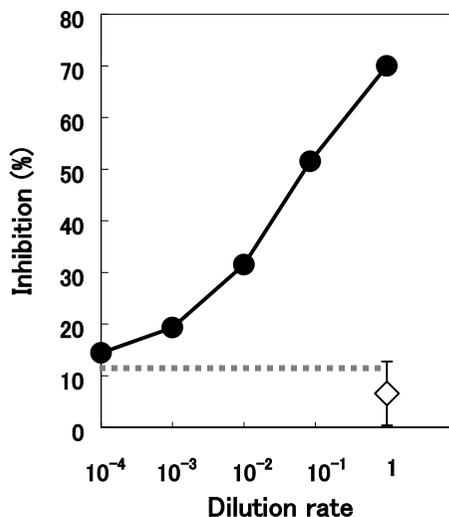


Fig. 2. RAST-inhibition of rice proteins based on their dilution rates. ●, non-treated rice (control); ○, allergen-reduced rice by high-pressure treatment at 300 MPa for 10 min.

イコトリエン産生能の影響[22]などが調べられており、臨床的にも有用性が示されている。

また有用成分の抽出例もある。スッポンは良い出汁がでるため、古くから高級食材として用いられているが、やわらかくなるまで煮るには2時間ほどを必要とする。しかし400 MPaの高圧処理を施すと、わずか20分の加熱で、軟らかくて身離れがしやすくなり、出汁の出も良くなった。さらに色の変化も小さいので、調理の効率が良い食材として料亭で採用されている。また、鯖やトビ魚に200 MPaの高圧処理を施し、その後煮出すことにより、香气・旨味成分の多い出汁が抽出でき、高級出汁として市販されている。

4. Hi-pit を利用した食品の醸造・発酵

4.1 八穀麴と八穀麴味噌[23]

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。さらに近年、ソバやきび、あわなどの穀物を麴に用いたり[24]、蒸米と蒸し煮大豆の混合麴を用いたりした[25]、特色ある味噌の醸造方法について研究が行われている。

玄米、大麦、はと麦、きび、赤米、大豆、黒豆、小豆の8種類の穀物を麴の原料とした味噌の開発にあたり、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、破精込みの悪いことや、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、麴菌が繁殖しにくいことが知られている[26]ため、これらが障害となっていた。一方で、精白米に高圧処理を施すことにより米粒の組織が破壊されたり、米表面の細胞が等方的に圧縮されるために澱粉粒が吐出したりといったことが観察されている[27]。さらに、前述したように、玄米を高圧処理することにより米粒内の組織に変化が生じ、米粒内で酵素反応による γ -アミノ

酪酸の富化がおこる[28, 29]。これらのことから、玄米などの穀物に高圧処理を施すことにより、種付けした麴菌の生育が向上するのではないかと考え、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、その後味噌の製麴を行う、機能性味噌の醸造方法について検討した。

通常の方法では製麴が困難な8種類の穀物(玄米・大麦・はと麦・きび・赤米・大豆・黒豆・小豆)に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製造を試みた。またそれらの麴及び味噌の機能性成分を定量し、以下の結果を得た。

- ① 25°Cで200 MPa、5分間の高圧処理を施し、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、製麴により麴菌糸の良好な伸延がみられた。八穀麴の酵素活性については、酸性および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の低下、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といえる。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 八穀麴味噌は原料穀物を全粒で使用するため、市販の淡色系の米味噌に比べ、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に、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」という商品名で市販されている。

4.2 高圧処理によるキムチの発酵制御[30]

発酵食品は、味噌、醤油、食酢をはじめ、酒、発酵乳、納豆、塩辛、漬物に至るまで、世界的に重要

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)
<i>Rice koji miso</i>	3165	2600	47.5	2.4	0.08	15000
<i>Hakkoku koji miso</i>	4485	3000	71.9	3.1	0.18	33420
Ratio	1.4	1.2	1.5	1.3	2.3	2.2

な位置を占めている。日本のキムチ生産量は急速に増大しており、1999年には浅漬を上回り、2001年には35万トンに達して漬物市場の約30%を占めるに至った[31]。

国内で製造されているキムチの多くは、白菜あるいはその浅漬に「タレ」を混ぜて製造される速成漬物であり、ほとんど熟成されていない[32, 33]。しかし、本来キムチは原料由来の微生物により発酵させた漬物であり、発酵には様々な微生物が関与している[34]。長期の保存によってキムチの発酵は進み、酸味が強く感じられるようになり、また包装体で密封した場合には、炭酸ガスの発生により、包装体が破損するなどの不具合が生じる[35]。非加熱あるいは加熱殺菌の不完全な包装食品が膨張する原因は、酵母やヘテロ型乳酸発酵を行う乳酸菌 (*Leuconostoc* 属, *Lb. brevis* など) によりガスが生成されるためである[36]。しかし、キムチの発酵を制御するために加熱殺菌を行うと、風味や食感が顕著に低下してしまう。そこで、保存の方法としては低温保存や、保存性向上剤 (食品添加物) の使用が行われている[37]。またγ線の照射[38]や高圧二酸化炭素処理[39]、高圧処理[35, 40, 41]、さらには、高電界パルスと高圧処理との併用[42]など、非加熱殺菌の方法も研究されている。

高圧処理は、水などの媒体を媒介として、圧力を被処理物へ瞬時に隔々まで一様に伝えることができるので、偏りがなく均一な処理が可能である。高圧処理は、微生物の不活化効果だけでなく、寄生虫の殺虫効果もあることが知られており[43]、25℃、200 MPa、5分間の高圧処理により、旋毛虫の筋肉内幼虫が死滅するとの報告がある[44]。漬物への高圧処理は、醤油もろみ漬けやしぼ漬け[45, 46]、野菜漬け[47]などへの応用が報告され、近年では

400 MPaの高圧処理により微生物を不活化した「生たくあん」が市販化された。

著者らは、発酵段階の異なる2種類のキムチに高圧処理を施し、微生物を制御することにより、ガスの発生を抑え、食味を低下させずに長期的に安定した製品を得ることを目的として、高圧処理がキムチの品質に及ぼす影響を調べた。キムチの品質は微生物学的特性、理化学的特性、ならびに外観と食味に関する官能特性から総合的に評価した。

- ① キムチに20℃で300 MPaの高圧処理を5分間施すことによって、発酵に必要な乳酸菌は生存させたまま、酵母を不活化させ、保存中に発生するガスによる包装体の膨張を防止することが可能となった。
- ② 高圧処理したキムチでは乳酸菌の生成が抑えられ、酸味の増加を長期にわたって抑制し、pHの過度の低下を防止することが可能になった。
- ③ 高圧処理により、保存中におけるキムチの遊離糖 (グルコースとフルクトース) 含量の減少を抑制することが可能であった。
- ④ 高圧処理を施したキムチは、無処理のキムチを長期間保存したときの色差と概ね同等で、やや透明感のある色調であった。
- ⑤ キムチの白菜の破断応力は、高圧処理の影響を受けず、保存による硬さの変化も小さいと判明した。
- ⑥ キムチに高圧処理を施すことによって、10℃での保存による喫食可能な期間が延長した。また、高圧処理による甘味と旨味の増加、特に発酵中期に高圧処理を施したキムチは香り、食感ともに無処理キムチと比較して評価が高いという結果が、官能評価より得られた。

Table 4. Food manufacture utilizing Hi-Pit.

	Induced phenomenon by high-pressure	
	Tissue breakdown	Inactivation and denaturation
Extraction	Removal of food allergen	-
Enzyme reaction	Biosyntheses and biological breakdown of nutrient in food	-
Fermentation	New fermentation food	Fermentation after selective inactivation
Other physical energy	-	Using with electric field sterilization together

このように、微生物の種類による高圧耐性の違いを利用してキムチの発酵過程を制御することで、密封包装での流過程におけるガス発生を原因とした包装袋の膨化を防止し、さらには品質を保持しながらの賞味期限の延長も可能となった。

5. おわりに

「圧力」はパスカルの原理で表されるようにシンプルであり、古典力学の分野でありながら、人類にとっては新技術パラダイムとして今後も研究がなされていくものと考えられる。Table 4に、複数の現象の組み合わせで達成された研究の例を示したが、未だ空白のカラム部分について研究を進めることで、革新的な新技術・新産業の創造も可能になると思われる。すなわち、圧力処理により誘引される微生物の不活化の効果を利用して、有用微生物を非加熱で殺菌し、菌体自身のエキスを薬理活性成分を抽出する研究、また、微生物が産出した薬理活性成分や酵素を有効利用する際に、微生物のみを排除（殺菌）する研究、他の物理エネルギーである、超音波や光との併用や組み合わせなど、有益な結果が得られるものと確信している。

人類は火を恐れ、火に魅せられ、そして火を操ってきた。食材を煮る・焼く・蒸す・炊くなど、加熱料理は多岐に渡る。一方で、従来の高圧処理による加工は「圧力をかける」だけであった。圧力処理のパラメータも多岐に渡ると予想され、今後、圧力調理に関する研究分野の進展も期待される。人類は、21世紀になってようやく「圧力」という道具を実用化レベルで入手することができた。今世紀は人類が「圧力」を恐れず、「圧力」に魅せられ、そして「圧力」を自由に操る時代になることを期待する。

謝 辞

本論を執筆するに際し、ご尽力いただいた越後製菓(株)総合研究所の大原絵里女史に深く謝意を表します。

参考文献

[1] 山崎彬, 笹川秋彦, 柁淵美倭子, 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), pp. 328-335.

[2] A. Sasagawa, A. Yamazaki: in *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology*, ed. R. Hayashi (Elsevier, Amsterdam, 2002), pp. 375-384.
 [3] 山崎彬, 笹川秋彦: 日本食品科学工学会誌, **45**, 526 (1998).
 [4] 山崎彬, 柁淵美倭子: 応用糖質科学, **50**, 89 (2003).
 [5] 山崎彬: 高圧力の科学と技術, **16**, 4 (2006).
 [6] 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).
 [7] 森山信雄, 篠崎隆, 金山功, 矢富信治: 農化, **76**, 614 (2002).
 [8] 大久長範, 大能俊久, 森勝美: 食科工, **50**, 316 (2003).
 [9] 佐竹利子, 福森武, 劉厚清, 河野元信, 佐々木康弘: 農業機械学会誌, **66**, 115 (2004).
 [10] 鈴木啓太郎, 前川孝昭: 農業施設, **30**, 137 (1999).
 [11] 柁淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎彬, 山本皓二: 食科工, **46**, 329 (1999).
 [12] 香川芳子監修: 科学技術庁資源調査〈五訂日本食品標準成分表〉による五訂食品成分表 (女子栄養大学出版部, 東京, 2002), pp. 6-26
 [13] 笹川秋彦, 山崎彬, 山本美穂子, 佐藤悠子, 山田明文: 第45回高圧討論会講演要旨集, p. 66 (2004).
 [14] 石津敬大, 山本美穂子, 笹川秋彦, 山崎彬, 梅田実, 岸岡真也, 山田明文: 2005年支部合同新潟地方大会講演要旨集, p. 28 (2005)
 [15] A. Yashiro, S. Oda, M. Sugano: *J. Nutr.*, **115**, 1325 (1985).
 [16] 河村幸雄: 食品工業, **40** (12), 73 (1997).
 [17] T. Matsuda, M. Sugiyama, R. Nakamura, S. Torii: *Agric. Biol. Chem.*, **52**, 1465 (1988).
 [18] 十字文子, 狩野博嗣, 成田雅美, 澁谷紀子, 成高信一, 北浦次郎, 菅原由人, 笹川秋彦, 岩田力: *アレルギー*, **48**, 56 (1999).
 [19] 田原義和, 木村彰宏, 黒坂文武, 小島崇嗣, 佐守友仁, 服部和裕, 笹井みさ, 山本明美: *アレルギー*, **46**, 302 (1997).
 [20] 川口治子: 第44回日本栄養改善学会講演集, p. 270 (1997).
 [21] 川口治子, 宇理須厚雄, 安藤仁志, 近藤康人, 徳田玲子, 和田映子, 矢崎雄彦, 山田一恵, 笹川秋彦: *アレルギー*, **47**, 303 (1998).
 [22] 十字文子, 成田雅美, 澁谷紀子, 狩野博嗣, 尾関哲也, 小林茂俊, 金保保, 伊東繁, 岩田力: *アレルギー*, **49**, 272 (2000).
 [23] 笹川秋彦, 五味正浩, 大浦克彦, 山崎彬, 山田明文: 日本食品科学工学会誌, **52**, 485 (2005).
 [24] 外山大介, 川原一仁, 山下實, 西山和夫, 水光正仁, 三浦道雄: *日食工誌*, **40**, 713 (1993).
 [25] 鈴木英子: 茨城県工業技術センター研究報告, **30**, 61 (2002).
 [26] 佐藤正, 安平仁美: 信州味噌研究所研究報告, **30**, 1 (1989).
 [27] 山崎彬, 柁淵美倭子, 山本和弘, 山田明文: 高圧力の科学と技術, **5**, 168 (1996).

- [28] 笹川秋彦, 杵淵美倭子, 山崎彬, 山田明文: 高圧バイオサイエンス, 功刀滋, 島田昇二, 鈴木敦士, 林力丸編, (さんえい出版, 京都, 1994), pp. 336-343.
- [29] 杵淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎彬, 山本皓二: 食科工, **46**, 323 (1999).
- [30] 笹川秋彦, 星野純, 小林篤, 西海理之, 鈴木敦士, 藤井智幸, 小西徹也, 山崎彬, 山田明文: 高圧力の科学と技術, **16**, 167 (2006).
- [31] 宮尾茂雄: 日本食品保蔵科学会誌, **30**, 29 (2004).
- [32] 稲津康弘, 前田譲, 一色賢司, 川本伸一: 食品工業, **47**, 46 (2004).
- [33] 金子健太郎, 辻匡子: フードリサーチ, **118**, 2 (1996).
- [34] 宮尾茂雄: 食品と科学, **42**, 78 (2000).
- [35] J.W. Lee, D.S. Cha, H.J. Park, K.T. Hwang: Int. J. Food Sci. Technol., **38**, 519 (2003).
- [36] 宮尾茂雄: 防菌防黴, **30**, 383 (2002).
- [37] 宮尾茂雄: 防菌防黴, **27**, 811 (1999).
- [38] H-P. Song, D-H. Kim, M-W. Kim, H-S. Yook, M-R. Kim, K-S. Kim: Radiat. Phys. Chem., **69**, 85 (2004).
- [39] S.I. Hong, W.S. Park: Biosci. Biotechnol. Biochem., **63**, 1119 (1999).
- [40] K-H. Shon, H-J. Lee: Int. J. Food. Sci. Technol., **33**, 359 (1998).
- [41] 渡邊恒夫, 宮間浩一, 柳沢洋: 栃木県食品工業指導所研究要報, **7**, 9 (1993).
- [42] A. Sasagawa, A. Yamazaki, A. Kobayashi, J. Hoshino, T. Ohshima, M. Sato, T. Fujii, A. Yamada: 高圧力の科学と技術, **16**, 45 (2006)
- [43] 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. 1-30.
- [44] 大西義博, 小野忠相, 重久保, 大森丘: 生物と食品の高圧科学, 林力丸編 (さんえい出版, 京都, 1993), pp. 139-146.
- [45] 松本正: 高圧科学と加圧食品, 林力丸編 (さんえい出版, 京都, 1991), pp. 368-376.
- [46] 松本正: 生物と食品の高圧科学, 林力丸編 (さんえい出版, 京都, 1993), pp. 343-348.
- [47] 栗林剛, 宮下勉: 高圧バイオサイエンス, 林力丸編 (さんえい出版, 京都, 1994) pp. 314-319.

[2008年1月21日受理]

© 2008 日本高圧力学会