

高圧処理による食品加工の研究と米飯開発

山崎 彬^{1,*}, 杵淵美倭子²

¹ 越後製菓株式会社 (940-0056 新潟県長岡市呉服町 1-4-5)
² 越後製菓株式会社総合研究所 (947-0102 新潟県小千谷市高梨町 1003-1)

Using High Pressure Treatment for Research in Food Processing and Development of Cooked Rice

(Received September 20, 2002)

Akira Yamazaki^{1,*} and Miwako Kinefuchi²

¹*Echigo Seika Co., Ltd. (1-4-5, Gofuku-machi, Nagaoka, Niigata 940-0056, Japan)*

²*Research Institute, Echigo Seika Co., Ltd. (1003-1, Takanashi-machi, Ojiya, Niigata 947-0102, Japan)*

Abstract: 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. In food processing, high pressure treatment produces no aberrant matter that puts the safety of food at risk because the food processing can be achieved without any cleavage of covalent bond contained in the ingredients of food. Moreover, high pressure treatment is 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. It has been confirmed that pressure treatment exhibits the following effects, which are useful to improve the quality of food to create new added value. 1) Removal of air bubbles: Air bubbles trapped in a solid substance can be removed therefrom by placing it in a solvent. Then a relatively low pressure ranging between about 10 to 100 MPa is applied and then rapidly reduced. By using this method, we have succeeded in developing food products, for example “rice cakes whose dispersion rate is decreased to one-sixth” and “low-salt pickles prepared in 10 min.” 2) Impregnation of a solid substance with a liquid and extraction of an ingredient from the solid substance: The sequential operation of applying a pressure of about 50 to 300 MPa to a solid substance and reducing the applied pressure can form a flow path for liquids in the solid substance. The solid substance can be thus impregnated with a liquid and a predetermined ingredient can be extracted from the solid substance effectively through the path. More specifically, we have completed the development of “low allergenic rice” by extracting an allergen-containing protein from rice, and “unpolished rice that can be cooked by normal procedures” by improving the water absorption properties of unpolished rice. 3) Control of enzyme reaction and destruction of cell wall and cell membrane: By the application of a pressure of 200 to 600 MPa to a living organism, the cell wall and the nuclear membrane in the cell are destroyed to cause the leakage of cell sap and halt the activity of some enzymes. By taking advantage of the above-mentioned effect, we have succeeded in the extraction of trehalose from the yeast cell with an enzyme by splitting the trehalose, *i.e.*, the trehalase being deactivated. In addition, it has been found that excess sludge occurring from industrial waste can be made more degradable through self-digestion by the application of high pressure. 4) Denaturation of starch: A pressure treatment of about 200 to 600 MPa destroys the crystal structure of starch so that the centric crosses under polarized light are lost. Consequently, the starch exhibits the same viscosity as obtained by gelatinization after heat treatment and the increased amylase digestibility. Using a variety of starches, the change in the state of water in the starches caused by the high pressure treatment was observed to obtain basic data. We have searched for reasons why the rice subjected to pressure treatment can become tastier after cooking than non-treated rice, and finally clarified the texture characteristics of cooked rice. In particular, it has been found that even though the cooked high-pressure processed rice suffers from retrogradation during storage, it can be restored by microwave heating to such an extent that the degree of gelatinization can surpass that obtained immediately after cooking. Moreover, we have succeeded in developing production lines capable of achieving high pressure application and establishing an energy-saving manufacturing system for producing the cooked high-pressure processed rice on an industrial scale. 5) Bactericidal effect of high pressure treatment: Many types of vegetative cells are killed by pressure application of 400 to 700 MPa. However, for killing the heat-resistant spores it is necessary to increase the temperature to 40 to 70°C and appropriately utilize other conditions in combination, such as the conditions of pH value, water content, rates in increasing and decreasing of pressure, and the like. Depending on various kinds of foods the individual complex conditions have been examined to determine the bactericidal conditions from the viewpoint of practical use. In such a manner, auxiliary food materials can be made germ-free without impairing their natural taste. We have thus developed rice cakes containing various kinds of auxiliary food materials, such as mugwort, beans, laver, unpolished rice, and many kinds of grain food products.
Key words: high pressure, food processing, cooked rice, gelatinization

* Corresponding author (Tel. +81-258-32-2358, Fax. +81-258-36-6969, E-mail: a-yamazaki@echigoseika.co.jp).

「熱」と「圧力」は、それぞれ独立した物質の状態変換因子でありながら、近年まで食品の加工には圧倒的に「熱」が利用されてきた。高圧処理は、食品の成分を構成する共有結合を開裂させず、安全性を脅かす異常物質が生じない。また、熱に比べて、栄養素の破壊、異臭の発生、エネルギーの消費が小さく、容器内の全ての部位で、均一な処理が保証されることも未来の食品加工に適している¹⁾。表1に高圧処理の現象が利用できる食品の分野、および既に開発された加圧食品の実例を紹介した。この中には、林力丸・鈴木敦士らの企画によって2000年11月に国立京都国際会館で開催された“The First International Conference on High Pressure Bioscience and Biotechnology”における欧米での開発製品を含んでいる²⁾。現在も、開催国である日本の研究レベルが最も高く、多くの分野で世界各国から注目を集めている。

ここでは高圧処理について、量産が可能な連続生産方式を紹介し、さらに最近の研究で得られた新しい成果の中から、その一部を報告する。

食品用高圧処理装置の進展

図1に既存の高圧処理装置を示した。図1(a)はピストンによる直接加圧方式で、図1(b)は増圧機で加圧流体を押し込む間接加圧方式である³⁾。図1(a)は実験研究用小容量、高圧力に適する。完成度が高く、各地に普及しているが、数リットル程度の小容量のものが多く、一般的な処理回数は約10-50回/日程度である。一方図1(b)は処理品の出し入れに優れ、大容量の処理に適している。しかし、

表1. 高圧処理の現象が利用できる食品の分野および既に開発されている実例

現象	圧力 (kg/cm ²)	高圧利用による効果									
		賞味期間の延長	生産期間の延長	生製品の出発防止	の抽出	し味	化製	有用成分の抽出	安全食品の新開発	配製	
微生物の耐性	100~5000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
殺菌・殺菌・低菌化	2000~8000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
酵素の失活	4000~8000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
酵素反応の耐性	500~7000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
タンパク質の変性	8000~8000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ゲランの変性	8000~8000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
脂質のエマルジョン化	500~8000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
物理 液体の含浸	60~1000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
物理 含有空気の排除	60~1000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
物理 結晶・組織の破壊	50~6000	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

食品分野	適用食品の分野及び実例	高圧利用による効果									
		賞味期間の延長	生産期間の延長	生製品の出発防止	の抽出	し味	化製	有用成分の抽出	安全食品の新開発	配製	
野菜類	ホウレンソウ、ブロッコリー、サヤエンドウ、玉ねぎ、鷹豆	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	果物類	リンゴ、キウイ、イチゴ、ナシ、カキ、ル・レクサエ、ブルーベリー等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	畜肉類	牛肉、豚肉、鳥肉、マトン、及びその他の肉類、各種ソーセージ、生ハム等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
乳類	牛乳、チーズ、ヨーグルト、乳タンパク質、生クリーム等	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	魚介類	サケ、タラ、イワシ、コイ、カキ、エビ、イカ、タコ、スズキ、各種魚卵	●	●	●	●	●	●	●	●	●
主食類	白飯、赤飯、餅(米製品)、饅頭、うどん、饅頭、パン、バスタ(炭酸飲料)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	惣菜類	煮物、煮物、煎物、炒物等の各種惣菜	●	●	●	●	●	●	●	●	●
加工食品	漬物類	たくあん漬、ネム子漬、各種漬物、味噌漬、梅干、種干、しじみ、軟干等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	調味料	醤油、ソース、味噌、鰹つゆ、昆布だし、ゆず湯、鰹魚エキス、ドレッシング等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	生乳	生乳、生ゼリー、アイス、甘味、各種果糖飲料、水、ミネラル水、健康飲料	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	嗜好品	各種米菓(あられ、せんべい)、各種炒り(イカ、ビーフジャーキー)等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	菓子類	菓介類、果実類、各種畜肉類等の冷凍食品及び冷凍食材等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	各種冷凍食品	各種肉類、レトルトパウチ品、加熱殺菌食品、各種業務用食材等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	加工		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	加熱品		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	加圧		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	加熱品		●	●	●	●	●	●	●	●	●

し、食品産業用の実用機として普及するには下記の課題が存在する。

- 1) 装置のコストに比べて食品の単価が安価であることから、1日の処理数が100-500回に耐えられること。
- 2) 素材の投入・取り出しが容易で、連続処理運転が可能であること。
- 3) 省エネルギーの観点から、処理後の圧力エネルギーが回収できること。
- 4) 蓋の開閉など、摺動部への給油および機械全体の保守が容易であること。

この10年間、これらの条件を満たす努力が続けられ、最近ようやく耐久性のある摺動材料の開発に成功し、連続運転が可能となった。図2は、1日当たり20時間の自動運転で300回/日(1サイクル4分)を実現した装置の写真である。2000年の5月に完成したこの装置は、1サイクルの処理容量が200Lで、使用後の圧力エネルギーの1/2を次のサイクルに回収している。圧力処理(200-400 MPa, 1-2 min)の全てのコストは1パック(300 mL)当たり1.25-2.50円である⁴⁾。食品の中で、米飯などの容積単価が低い製品を対象に実用運転を成功させた意義は大きく、この運転実績を他の食品に適用すれば、表1のほとんどの食品が経済的に可能な領域に入ると想定される。

高圧処理の利用による種々の効果

1. 気泡の排除効果

一般に固体内の気泡は、10-100 MPa程度の比較的低い圧力で排除できる。加圧された気泡は、水などの圧媒に溶けるため、急速な減圧によって外部に排除される。これを利用して「湯溶解率を1/5以下に減少させた餅」や「10分で加工できる低塩漬物」などを開発した。殺菌効果を期

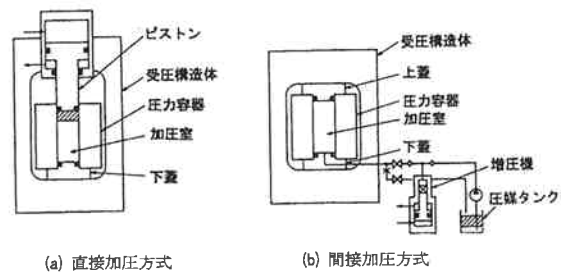


図1. 高圧処理装置の加圧方式

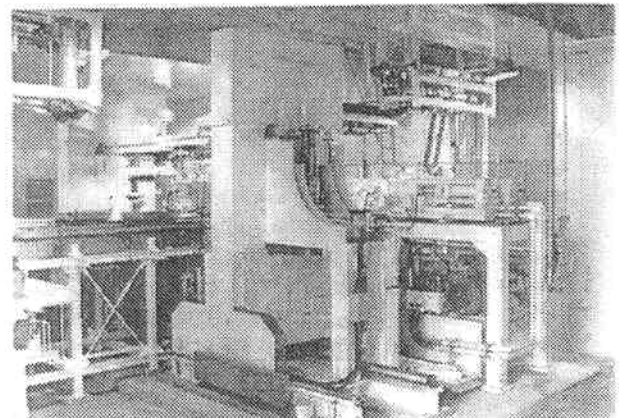


図2. 食品工業用連続高圧処理装置

待する場合は、後述するように 300-500 MPa の処理が好ましい。

1) 「新しい物性の餅」について

餅の伸展性、弾力性、舌触り等の物性は、組織を形成する団粒構造と冷却速度の影響を受けて決定されるが、湯溶けの原因は組織に含まれる空気泡である。図3および図4に固化後の組織を示した。図3は空気泡を含む一般製法のまま固化させた組織で、図4は軟らかいうちに高压処理で空気泡を排除した組織である。高压処理によって空気泡の消失していることが確認される。表2はこの餅の物性を示した。一般に杵搗き後に急冷却で固化したものが優れた食感となるが、高压処理で空気泡を含まない餅は、湯溶け率が1/5以下に減少している⁵⁶⁾。

2) 「新製法による各種低菌漬物」について

一般に包装漬物の原料となる野菜は内部に空気を含んでいる。図5に示す高压処理によって茄子、胡瓜、人参などの低菌化漬物を得た。表3は、調味液に原料を封入し、

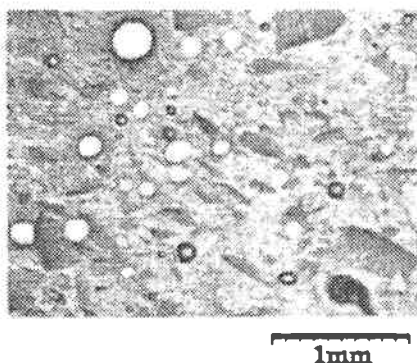


図3. 空気泡を含む餅組織

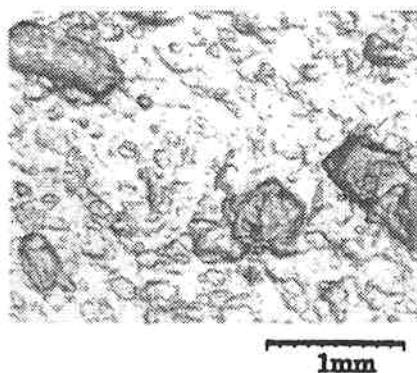


図4. 空気泡を排除した餅組織

表2. 高压処理 (400 MPa, 10分) による餅の物性変化

処理条件	比重 (-)	水分率 (%)	空気含有量 (cm ³ /100g)	湯溶け率 (%)	伸展性	弾力性	総合評価
急冷却							
一般製法	1.25	42.2	2.92	10.2	◎	◎	優
高压処理	1.29	42.3	0.00	1.8	◎	◎	優
徐冷却							
一般製法	1.24	42.5	3.04	11.0	×	×	可
高压処理	1.28	42.3	0.60	2.1	△	○	良

急冷却：2°C, 36時間冷却；徐冷却：30°C, 12時間保持後2°C, 36時間冷却；比重：25°Cで測定；湯溶け率：100°Cで測定。

300-500 MPa, 10分の高压処理で製造した製品の物性評価である。高压処理で材料が漬かるまでの必要日数が短縮できる。また、400 MPa以上の圧力処理で冷蔵流通の可能な優れた商品を開発した⁷⁾。松本は、醤油もろみ漬け、しば漬けおよび日野菜さくら漬けなどで、400 MPa以上の高压処理と85°C, 10分の加熱殺菌が同程度の効果を有していると報告している⁸⁾。これは、漬物の優勢種である乳酸菌への殺菌効果がほぼ同じであることを示している。また、この場合の必要エネルギーを比較すると高压処理では加熱処理の1/16以下となる。

2. 液体の含浸, 成分の抽出効果

一般に50-300 MPa程度の加圧と減圧の操作により、固体内に液体の流路を形成し、固体内部への溶液の含浸、および成分の抽出効率を上昇させることができる。これを利用して米からアレルギー含有タンパク質を効率よく抽出した。また、吸水性に優れた新しい物性の玄米を開発した。

1) 「低アレルギー米」について

アレルギーの発症を防止するには、米粒のタンパク質に含まれる抗原基 (エピトープ) を除去する必要がある。しかし、米の内部には空気が存在し、これが溶媒との接触を妨げ、抽出に長時間を要する。50-100 MPaの加圧処理を行うことで、単位時間当りの抽出効率を上昇させることができる。100 MPa以上の加圧では、細胞が緻密化する上に内部のタンパク質が変性するために粘性が上昇し、抽出効率が低下する。50 MPaの加圧でも内部の空気の体積は1/500となり、圧力により溶解度が上昇して溶媒に溶け込むことになる。この溶解した空気を外部に取り出すには急速減圧が有効であるが、この速度は機械性能に依存する。し

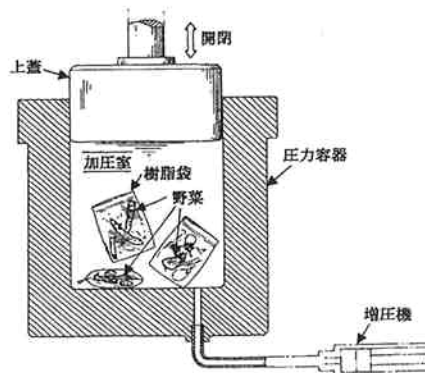


図5. 包装漬物の高压処理例

表3. 高压処理による包装漬物の物性評価

茄子, 胡瓜, 人参の処理条件	10°C 保管での一般生菌数 [cfu/g]				材料が漬かるまでの必要日数
	処理直後	3日	11日	30日後	
無処理	2.1 × 10 ⁸ 以下	3-5日 で変敗			茄子は4-7日
300 MPa, 10分	10 ³ 以下	10 ⁴ 以下	14日 で変敗		茄子は3日, 胡瓜と人参は処理直後に漬かった
400 MPa, 10分	10 ² 以下	10 ² 以下	10 ² 以下	安定	
500 MPa, 10分	10 ² 以下	10 ² 以下	10 ² 以下	安定	

かし、300 MPa 以上の高圧で米のタンパク質を不可逆的に変性させると、1 M 食塩水に溶解しなくなり、抽出が不可能となるだけでなく、正確な測定が困難になる⁹⁾。表 4 は米粒に含まれる各種タンパク質を画分別に示したものである¹⁰⁾。未処理米の 1 M 食塩水抽出物画分（アルブミン、グロブリン）は 12.1 mg/g であったが、抽出後は 0.6 mg/g に減少させることができた。また、タンパク質の総量は 58% が残留しており、「米のタンパク質は人体に有用なものが多いのでアレルギーを含むもの以外はできるだけ残す」という初期の目的を達成した。図 6 に SDS 抽出液の電気泳動の結果を示した。B の無処理米に比べて A の抽出処理米はアルブミンとグロブリン画分の 14-16 KDa のタンパク質が激減していることがわかる。図 7 は、処理米を炊飯して製造した低アレルギーご飯の RAST-inhibition の結果である。低アレルギーご飯は未処理のご飯に比べて 10⁻⁴ 以下に減少している¹¹⁾。

2) 「吸水性に優れた玄米」について

玄米は、白米に比べて多くのミネラルやビタミン、食物繊維、そして薬理活性成分などを含んでいる。その中でも γ -アミノ酪酸（以下 GABA と記載）は血圧降下作用が確認されていて、この効果を期待して玄米食を愛用する人が多い。この GABA は、最初から多量に含まれているものではなく、浸漬されている長い時間の間にグルタミン酸脱

表 4. 米粒中の各種タンパク質と抽出後の画分変化

種類	1 M 食塩水抽出物画分		プロラミン	グルテリン	総タンパク質量
	アルブミン	グロブリン			
文献値での割合 (%)	5	9	3	83	100 (%)
未処理米の含有量 (mg/g)*	3.60	8.50	(56.2)		68.3
抽出後の含有量 (mg/g)*	0.23	0.37	(39.1)		39.7

*乾燥米 1 g 中のタンパク質含量。

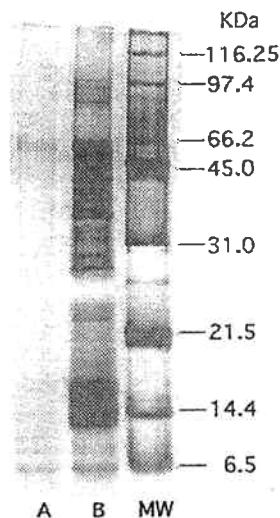


図 6. SDS-gel の電気泳動結果

A, 抽出処理米; B, 未処理米; MW, 分子量マーカー。

炭酸酵素（以下 GAD と記載）の働きでグルタミン酸から生合成されることが知られている¹²⁾。ここで開発する玄米が「白米と同様に普通に炊ける」ことは、この玄米の吸水性が白米と同程度に短縮されることを意味している。すなわち、一般の玄米が吸水に数十時間を要し、徐々に GABA を生成するのに対して、この玄米は GABA の生成時間が不足することになる。したがって、この玄米は、短時間で炊飯可能となる吸水性を有すると同時に、GABA を前もって蓄積している必要がある。表 5 は GABA の蓄積量を示したものである。高圧処理を施した玄米に GABA の蓄積が多く、特に 400 MPa 処理のものが最も早く蓄積することがわかる¹³⁾。また、図 8 に 600 MPa の処理で吸水性を改良した玄米の水分含有率の変化を示した¹⁴⁾。未加工の玄米と異なり、白米と同じ速度で水分を吸収することがわかる。

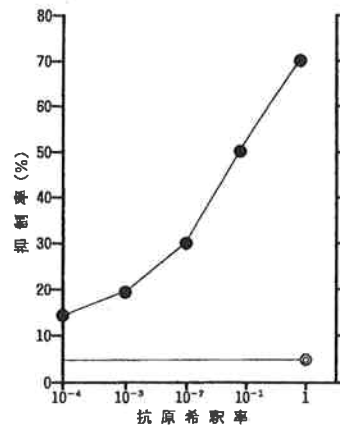


図 7. コメアレルギー患者の血清による抗原抗体反応試験結果 (RAST-inhibition test)

●, 未処理米の米飯; ○, 抽出処理米の米飯。

表 5. 玄米中への γ -アミノ酪酸の蓄積量 (mg/100 g 乾燥玄米)

処理条件*	処理後 25°C での浸漬時間		
	直後	10 時間後	18 時間後
無処理	6.4	8.7	10.8
200 MPa, 10 分	6.4	12.0	16.2
400 MPa, 10 分	6.4	13.0	18.3
700 MPa, 10 分	6.4	11.5	15.9

*浸漬水量は玄米重量と同重量。

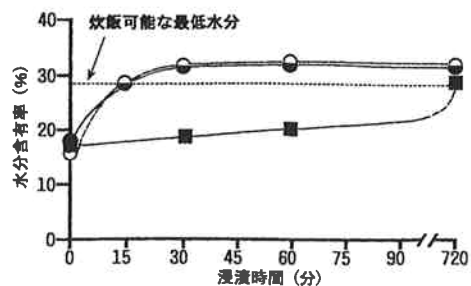


図 8. 水温 18°C における白米と未加工玄米ならびに普通に炊ける玄米の吸水性の比較

○, 白米; ■, 未加工玄米; ●, 600 MPa, 10 分処理の普通に炊ける玄米。

3. 酵素反応の制御, 細胞壁や細胞膜の破壊効果

1) 酵母細胞に内在するトレハロースの抽出

トレハロースは自然界に存在する保水性に優れた二糖類として医薬品, 化粧品, 食品機能保持剤として注目されている。酵母はトレハロースを多量に含んでいるが, 細胞内の液胞にこれを分解するトレハラーゼ (トレハロースの分解酵素) を同時に含有しているため, 安易に磨砕すると, 分解されて抽出が不可能となる。圧力を利用すると, トレハロースは 1000 MPa でも全く分解しないのに対し, トレハラーゼの活性は 400 MPa で 50%, 600 MPa で 10%, 700 MPa 以上ではほぼ 0% に低下する¹⁵⁾。また 200-600 MPa の処理で, 細胞内の核膜が破壊され, 細胞液の漏出が生ずる。したがって酵母細胞を加圧すれば, トレハラーゼを失活させながら同時にトレハロースが抽出できることになる。図 9 に各圧力でトレハロースを抽出したときの収量変化をグラフで示した。図 10 には原料の酵母細胞 (固体), 400 MPa 処理でペースト状に変化した状態, ならびに 700 MPa 処理で液化した酵母の状態とこの濾過液の写真を示した。最近ではトレハロースだけでなく, 酵母エキスが無添加で抽出できることで, 牛エキスに代わる多くの需要が見込まれ

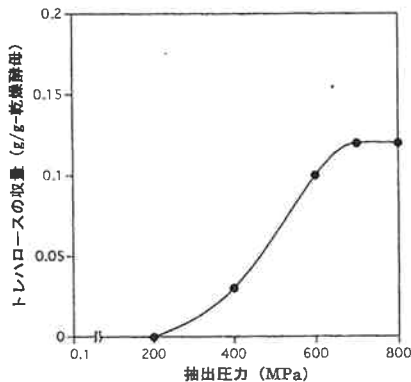


図 9. 各抽出圧力によるトレハロースの収量変化 (30°C)

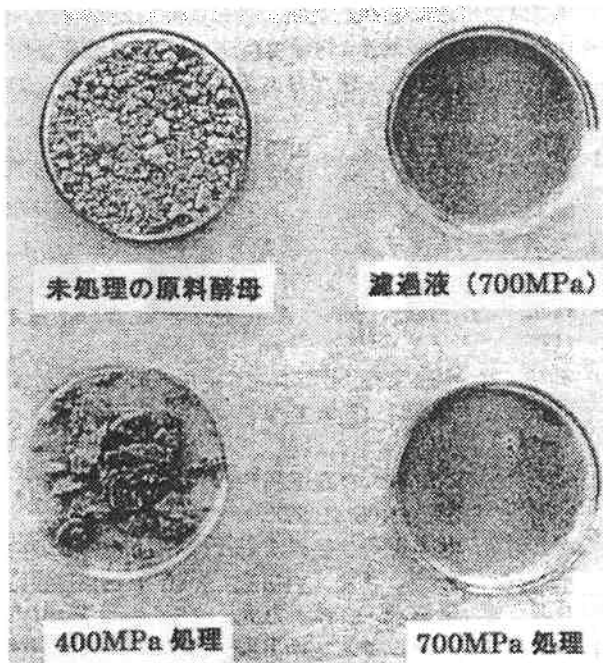


図 10. 抽出圧力による酵母細胞の変化

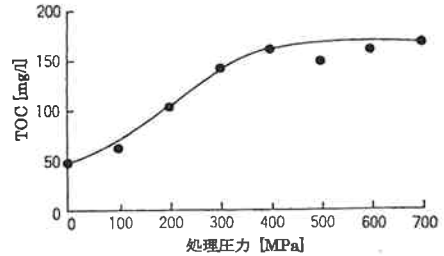


図 11. 高圧処理による汚泥からの漏出物質 (TOC 測定)

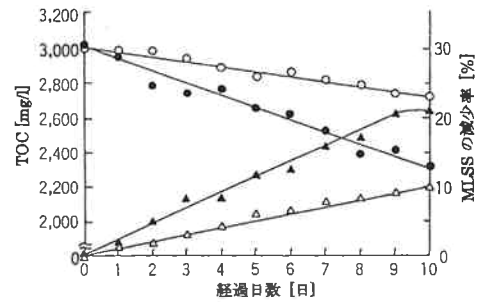


図 12. 消化実験における TOC および MLSS の減少率

処理条件: 毎日 30% の汚泥を 400 MPa, 10 分間処理; ○, 無処理区の TOC; ●, 圧力処理区の TOC; △, 無処理区の MLSS の減少率; ▲, 圧力処理区の MLSS の減少率。

ている。

2) 余剰汚泥の生物分解性の向上

前記の細胞破壊効果を利用して, 食品工場の産業廃棄物である余剰汚泥を加圧し, 自己消化で分解性が向上することを示した¹⁶⁾。図 11 は高圧処理で汚泥細胞からの漏出した全有機炭素 (TOC) を測定した結果である。細胞破壊に必要な圧力は 400 MPa で十分であることがわかる。また, 図 12 は, 曝気槽内の汚泥の 30% に毎日高圧処理を施し, 自己消化性を向上させた結果である。TOC の減少は高圧処理区で約 600 mg/L であり, 無処理区の 200 mg/L に比べて 3 倍となった。また, MLSS の減少率は 10 日後で高圧処理区が 20% であり, 無処理区の 10% に比べて 2 倍であった。高圧処理により, 汚泥の消化性が向上することを確認した。表 6 は, 消化実験を 75 日間継続した微生物相の変化である。

4. 澱粉の圧力変性効果

200-600 MPa 程度の圧力処理により, 澱粉は結晶構造が崩れて偏光十字が消失し, 熱による糊化と類似した粘性が生じ, アミラーゼ消化性が高まる¹⁷⁾。各種澱粉に対し, 高圧処理と熱処理による水の存在状態の変化を比較し, 基礎データを得た¹⁸⁾。図 13 にとうもろこし, 図 14 に米, 図 15 に馬鈴薯の各澱粉について DSC 分析を行い, 処理直後から 1, 2, 5 日の経時変化について示した。その結果, とうもろこしや米などの結晶化度の大きい A 型澱粉は圧力処理の影響を受け易く, 馬鈴薯澱粉などの比較的結晶化度の小さい B 型澱粉は圧力処理の影響を受け難かった。さらに, 氷の融解ピークが加熱処理の澱粉では未処理澱粉に比べて低温側に移動するが, 高圧処理ではこの変化が認められず, 0°C 付近に存在することから主に自由水で構成されているとの知見を得た。また, 米粒のままに加圧処理を受

表 6. 消化実験における微生物相の変化

実験開始時の微生物相	経過日数	10日	20日	30日	40日	50日	60日	75日後	
MLSS 7000(mg/L)		2槽平均の MLSS 6835					6750	6457	6655
<i>Entosiphon</i> 属	350	<i>Entosiphon</i> 属							
<i>Pleuromonas</i> 属	220	無処理区	<i>Opercularia</i> 属					<i>Pleuromonas</i> 属 300	
			<i>Astasia</i> 属					<i>Astasia</i> 属 80	
<i>Aspidisca</i> 属	350			<i>Scenedesmus</i> 属				(個/mL)	
<i>Trachelophyllum</i> 属	190								
<i>Opercularia</i> 属	550	2槽平均の MLSS 6198					6145	6021	5970
<i>Spirostomum</i> 属	260	<i>Entosiphon</i> 属							<i>Colpidium</i> 属 160
		<i>Bodo</i> 属							<i>Bodo</i> 属 240
<i>Aeolosoma</i> 属	190	高压処理区	<i>Astasia</i> 属					<i>Astasia</i> 属 120	
<i>Notommata</i> 属	65		<i>Euglena</i> 属					[個/mL]	
						<i>Scenedesmus</i> 属			
一般生菌数		無処理区	1.6×10^6	4.0×10^6		3.4×10^6	2.8×10^7	4.0×10^7	
2.0×10^6 (cfu/mL)		高压処理区	1.9×10^6	1.8×10^6		1.1×10^6	6.4×10^7	3.8×10^7	

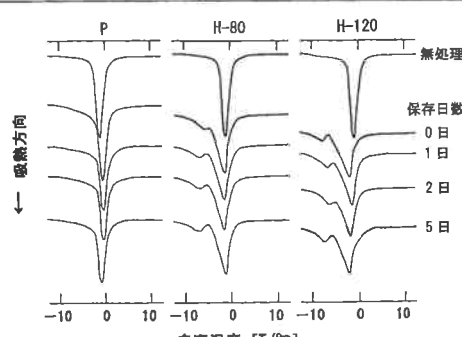
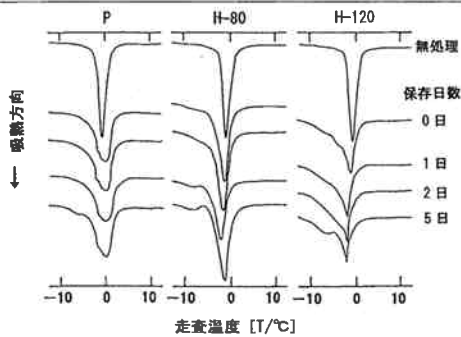


図 13. とうもろこし澱粉の各種処理後における示差熱分析
P, 600 MPa の高压処理 ; H-80, 80°C での熱処理 ; H-120, 120°C での熱処理.

図 15. 馬鈴薯澱粉の各種処理後における示差熱分析
P, 600 MPa の高压処理 ; H-80, 80°C での熱処理 ; H-120, 120°C での熱処理.

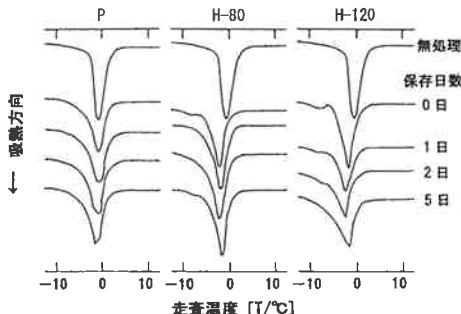


図 14. 米澱粉の各種処理後における示差熱分析
P, 600 MPa の高压処理 ; H-80, 80°C での熱処理 ; H-120, 120°C での熱処理.

けた場合は、米澱粉で加圧された場合に比較して偏光十字の消失に高い圧力を必要とする結果を得た。温度 40°C の場合、700 MPa, 10 分では膨潤や偏光十字の消失が確認できない。700 MPa, 30 分で消失の兆しを確認され、700 MPa, 60 分で 50% 程度の消失が確認された。図 16 に 40°C で加圧処理された米粒内の澱粉粒の偏光顕微鏡画像を位相差画像とともに示した。米粒に加圧した場合は、米粒内の澱粉粒の近傍に存在する水が少なく、脂質やタンパク質の保護作用も受けるために、結晶構造が守られること

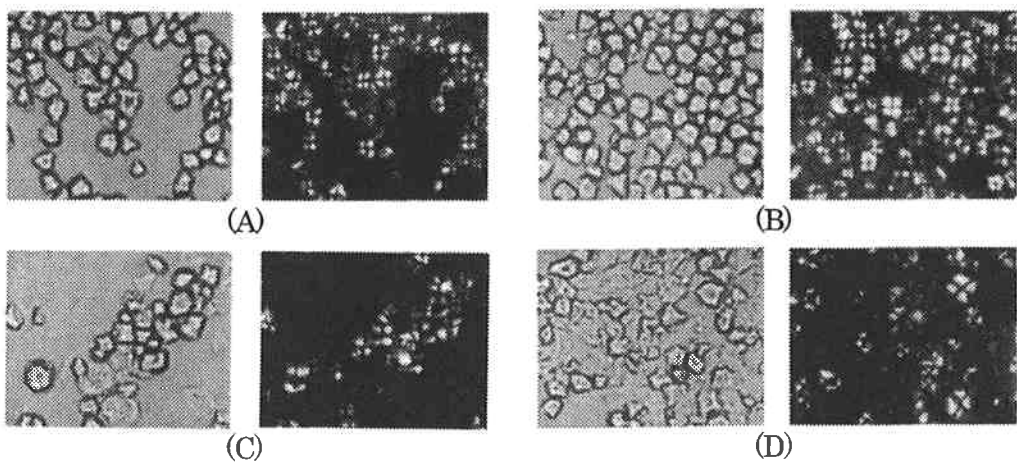


図 16. 米粒内で加圧された澱粉粒の偏光十字の残存画像
(A) 無処理米の澱粉粒, (B) 700 MPa, 10 分処理, (C) 700 MPa, 30 分処理, (D) 700 MPa, 60 分処理.
左, 位相差顕微鏡画像 ; 右, 偏光顕微鏡画像.

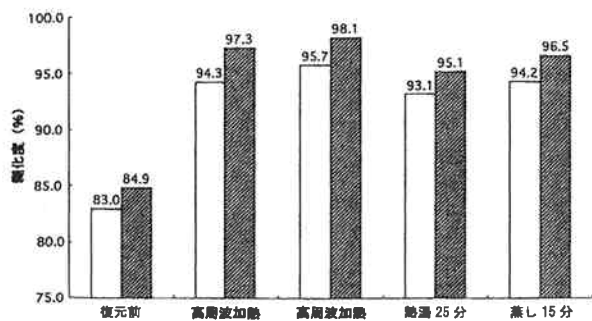


図 17. 老化米飯の加熱処理による糊化度の変化

□, 普通米飯; □, 高压処理米飯 (浸漬時 400 MPa 処理); 復元前, 炊飯後室温で 5 日保存; 高周波加熱, 出力 500 W の電子レンジで加熱; 熱湯, 容器入りのまま沸騰水中で煮沸; 蒸し, 家庭用蒸し器を使用; 糊化度, BAP 法¹⁹⁾による測定.

表 7. 各種微生物への高压処理の殺菌効果

微生物の分類	生菌数 (cfu/mL)		
	初菌数	压力処理 400 MPa, 10 分	
		20°C	45°C
<i>Penicillium verrucosum</i>	1.5×10^4	2.0×10^2	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</i> Cp22B	9.3×10^4	1.4×10^4	0

が示唆される. さらに, 加圧処理を施した米が未処理の米より美味しく炊飯できる原因を探り, 食感の特性を明らかにした. 特に高压処理米飯では, 炊飯後の保存で老化した米飯も電子レンジで加温 (調理) すると, 炊きたて直後の糊化度を越える米飯に復元する知見を得た¹⁹⁾. 図 17 に炊飯後の加熱方法による糊化度の変化を BAP 法で示した²⁰⁾. さらに, この米飯を工業的に生産する高压連続製造ラインの開発と省エネルギー生産方式を実現した²¹⁾.

5. 高压処理による殺菌効果

40-700 MPa の压力処理で, 多くの栄養摂取型の菌は死滅する. 表 7 に芽胞形成を行わない微生物の压力による殺菌効果を示した. しかし耐熱性芽胞菌の殺菌に対しては 40-70°C の温度, pH の調整, 水分含有率, 加圧や減圧の速度, などの条件を組み合わせる必要がある. 各種の餅に使用される副材料に対し, 実用化の観点から殺菌条件を示した. 図 18 には蓬餅の材料となる蓬について, 図 19 には豆餅の材料となる青豆について, 図 20 には海苔餅の材料となる青海苔について, また図 21 には玄米餅や多種穀物食品の材料となる玄米について工程別に生菌数の変化を示した. これにより, 自然の風味を生かした各種副材料を無菌化し, 蓬餅, 豆餅, 海苔餅, 玄米餅および多種穀物食品などを開発した²²⁾.

高压処理に期待する研究課題

高压処理について, 当初は, 多くの研究者の興味が微生物の殺菌に向けられた. しかし研究の進展とともに, 食感

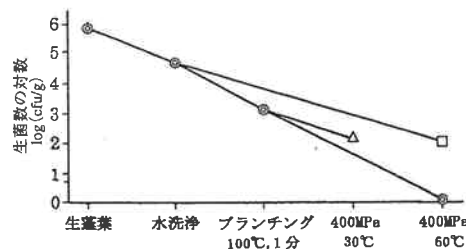


図 18. 蓬の各除菌工程における一般生菌数の変化

ブランチング: NaHCO_3 溶液中で 100°C, 1 分間の処理; ●, 無菌蓬の各製造工程での生菌数; △, ブランチング後に 30°C で 400 MPa, 10 分処理; □, 水洗浄後に 60°C で 400 MPa, 10 分処理.

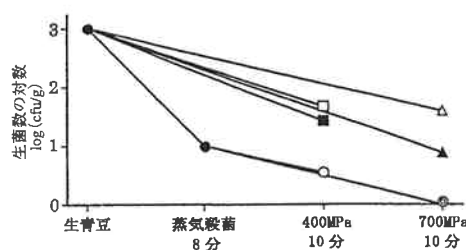


図 19. 青豆の各除菌工程における一般生菌数の変化

●, 原料青豆と蒸気殺菌後の生菌数; □, △, 水分 40% で殺菌温度 60°C での生菌数; ■, ▲, ○, ◎, 水分 40% で殺菌温度 70°C での生菌数.

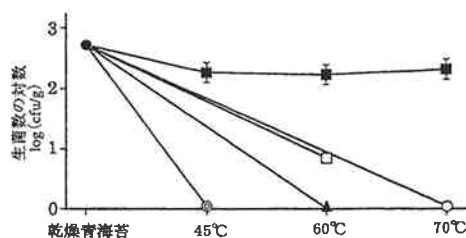


図 20. 青海苔の各種殺菌条件における一般生菌数の変化

●, ■, 水分 8-40% のまま 45-70°C, 400-700 MPa で 10 分間殺菌処理; ◎, 0.1% の NaHCO_3 を加えて 54% に加湿し 45°C, 400 MPa, 10 分間処理; □, 54% に加湿し 60°C, 400 MPa, 10 分間処理; ○, 54% に加湿し 70°C, 400 MPa, 10 分間処理; ▲, 54% に加湿し 60°C, 800 MPa, 10 分間処理.

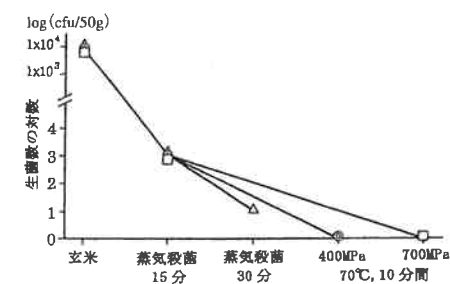


図 21. 玄米の各除菌工程における一般生菌数の変化

や物性の改良による新食品の開発が注目された. その後, 細胞や生体分子レベルでの基礎研究が開始され, 最近バイオテクノロジー, 生物物理学, 医学や薬学分野にまで広がっている²³⁾. また現在, 企業の最先端では, 前述した多くの効果を有機的に組み合わせ, 食品に含まれている組成を酵素反応や生化学反応を利用して変換する試みもなされている. 玄米中の γ -アミノ酪酸の増加やイカに含まれるタウリンの増加などは既に実用化の段階を迎えている.

今後、食品中の薬理活性成分を増加させ、薬品との接点を探ることは重要な課題となるであろう。殺菌については、芽胞細胞の殺菌で行き詰まっていたが、高圧処理の損傷履歴がその後の加熱殺菌に応用できることが示唆され、これを利用して従来のはじめの殺菌指標であるF値やD値が変更されるものと考えられる。また高圧装置の性能が向上すれば、瞬間除圧の殺菌効果も期待できることから、今後の機械の開発が望まれる²⁴⁾。

圧力処理はエネルギー的に有利であり、周囲の環境を汚染することもなく、容器内は偏り無しに均一な処理が期待できる。これを契機に、香りや色、味や食感を生かした新しい物性の食品が創出されるであろう²⁵⁾。また、高齢化社会を迎えて、嚥下・咀嚼困難者用食品、易消化性食品、食品中の薬理成分を増強した種々の機能性食品など、広大な無圧力利用時代が到来することを期待する。

このたびは日本応用糖質科学会技術開発賞をいただき、誠にありがとうございました。学会会長の谷口 肇先生をはじめ、前会長の岡田巖太郎先生、ご推薦いただいた副会長の坂野好幸先生、ならびに理事および選考委員の諸先生方、さらに原稿の執筆でお世話になった編集委員長の竹田靖史先生に深く感謝申し上げます。また、ご指導いただいた生物系特定産業技術研究推進機構理事の貝沼圭二先生、京都大学農学部の林 力丸教授、新潟大学農学部の鈴木敦士教授、長岡技術科学大学の山田明文教授ならびに山元皓二教授、生態工学研究所代表の須藤隆一先生、独立法人食品総合研究所の大坪研一先生、さらに研究業務で協力をいただいた越後製菓株式会社総合研究所の笹川秋彦氏ならびに実際の研究でお世話になった職員の方々に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 林 力丸：調理・加工・殺菌・保蔵への高圧利用の可能性。食品と開発，**22**，55-62 (1987)。
- 2) R. Hayashi: *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology: Progress in Biotechnology*, Vol. 19, Elsevier, Amsterdam (2002)。
- 3) 神田 剛：「加圧食品」，林 力丸編，さんえい出版，京都，p. 344 (1990)。
- 4) 山崎 彬，笹川秋彦：「高圧バイオサイエンスとバイオテクノロジー」，菅野長右エ門，林 力丸編，さんえい出版，京都，p. 238 (2000)。
- 5) A. Yamazaki, K. Yamamoto and A. Yamada: An approach to the evaluation of the physical quality of rice cakes. *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*, **42**, 369-375 (1995)。
- 6) 山崎 彬，笹川秋彦，柗淵美倭子，山田明文：高圧処理を利用した餅の製造。「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，p. 328-335 (1994)。
- 7) 越後製菓食品研究室：各種食品への高圧利用の応用。「高圧利用に関する研究成果報告書」，超高圧技術の食品等への応用に関する研究会編，双葉印刷，新潟，pp. 30-35 (1991)。
- 8) 松本 正：漬物への高圧利用。食品加工技術，**13**，20 (1993)。
- 9) 笹川秋彦，伊藤満敏，山崎 彬，高中紘一郎：米アレルギー蛋白の加圧による変動。新潟アレルギー研究会誌，第23回研究会記録，**10**，7-9 (1993)。
- 10) 笹川秋彦，伊藤満敏，山崎 彬，高中紘一郎：低アレルギー無菌化包装米飯について。新潟アレルギー研究会誌，第25回研究会記録，**11**，11-14 (1994)。
- 11) 山崎 彬，笹川秋彦：高圧食品開発物語(その2)一炊飯性に優れた加工玄米の製造方法一。高圧力の科学と技術，**6**，236-241 (1997)。
- 12) T. Saikusa, T. Horino and Y. Mori: Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. *J. Agric. Food Chem.*, **42**，1122-1125 (1994)。
- 13) 柗淵美倭子，関矢美由紀，山崎 彬，山元皓二：高圧処理を利用した玄米中への γ -アミノ酪酸(GABA)の蓄積。日食工誌，**46**，323-328 (1999)。
- 14) 山崎 彬：高圧食品開発物語(その3)一低アレルギーご飯および米パンの開発一。高圧力の科学と技術，**6**，182-186 (1997)。
- 15) 柗淵美倭子，山崎 彬，山元皓二：高圧処理を利用した酵母からのトレハロースの抽出，応用糖質科学，**42**，237-242 (1995)。
- 16) 山崎 彬，青木隆之，山之内さゆり，山田明文：高圧利用による余剰活性汚泥の生物分解性の向上。用水と廃水，**37**，19-23 (1995)。
- 17) 江崎佐知子，林 力丸：各種デンプンに対する圧力と熱の効果の相関関係。「生物と食品の高圧科学」，林 力丸編，さんえい出版，京都，pp. 110-115 (1993)。
- 18) 山崎 彬，笹川秋彦，山田明文：高圧処理および熱処理後における各種澱粉-水系中の水の存在状態の比較。熱測定，**23**，149-158 (1996)。
- 19) 山崎 彬，笹川秋彦：高圧を利用した米加工食品の開発。農化，**74**，619-623 (2000)。
- 20) 貝沼圭二，松永暁子，板川正秀，小林昭一： β -アミラーゼ-プルランナーゼ(BAP)系を用いた澱粉の糊化度，老化度の新測定法。澱粉科学，**28**，235-240 (1981)。
- 21) A. Sasagawa and A. Yamazaki: Development and industrialization of pressure-processed foods. in *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology: Progress in Biotechnology*, Vol. 19, R. Hayashi, ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 375-384 (2002)。
- 22) 山崎 彬，笹川秋彦：高圧処理による米加工食品の開発。日食工誌，**45**，526-532 (1998)。
- 23) 山崎 彬，笹川秋彦：高圧処理法。「新食感事典」，サイエンスフォーラム，pp. 371-383 (1999)。
- 24) 早川 功：食品産業への高圧利用。日食工誌，**47**，651-659 (2000)。
- 25) 山崎 彬：超高圧処理による食品物性の改質と圧力殺菌の展望。調理科学，**35**，209-216 (2002)。