

高圧処理による米加工食品の開発

(平成10年度 日本食品科学工学会技術賞)

山崎 彬*・笹川秋彦*

Development of Rice Food Products Processed by
High Pressure Treatment

Akira YAMAZAKI* and Akihiko SASAGAWA*

* Research Institute, Echigo Seika Co., Ltd.,
Takanashi-machi, Ojiya-shi, Niigata 947-0193

人類が食糧として栽培し、利用している穀類は、50種類を超えるが、その80%までがコムギ、コメ、トウモロコシの三種類で占められている。また、コメのほとんどはアジアの地域で生産され、単位面積当たりの収穫量はコメが最も高いと報告されている¹⁾。これが、コメは将来さらに有望な作物だと考えられる所以である。最近世界中で、健康に対する意識の向上とともにコメの価値が見直されている。またコメは、日本で自給できる唯一の主要穀物であり、栄養的にも優れており、炊飯や加工の歴史も古く、主食としてだけでなく、多くの加工品が我々の食文化を支えている。

一方、熱と圧力はそれぞれ独立した物質の状態変換因子であるにもかかわらず、近年まで高圧を食品に利用する研究は少なかった。しかし、1988年に林らによって高圧加工技術の講演会が開催され、その成果が出版²⁾されたことにより、食品産業で高圧の利用が検討されるようになった。その後、各企業の努力により、高圧処理による食品加工の実用化が実現した。各種のジャム³⁾や柑橘類果汁⁴⁾、および、我々の開発した蓬(よもぎ)入り餅⁵⁾などで、自然の風味を残したままの殺菌手段として高圧を利用したものである。これは、食品製造に供する大型の圧力容器の価格および運転経費が、加工価格として食品業界に受け入れられたことを示している。

当初、高圧力の利用についての強い関心は、加熱殺菌

に代わる殺菌効果に向けられたが、データが蓄積されるに伴って、タンパク質やデンプンの変性、および酵素反応の制御や微生物による有用物質の生産などのバイオサイエンスの分野に移っている。我々はこれらの複合的な効果を利用して、前述のコメを原料とする新しい米加工食品の開発を行なったのでここにその一部を紹介する。

1. 高圧処理による各種餅(もち)の製造

一般に餅の品質は、純粋な穀類の味と、足(伸展性)、腰(弾力性)、そして舌触り(食感)に代表される物性で評価される⁶⁾。また、煮た場合の湯溶け率は餅に含まれる空気泡と密接に関係している。これらの物性に対し、高圧による変化は想定されるにもかかわらず研究されていなかった。また、最近では加工技術の進歩により、原材料に耐熱性菌が少ない場合、蒸工程(100℃, 30分前後)で殺菌できるので、無菌の製品が作られるようになった。したがって高圧殺菌により、自然の風味を残した副材料(蓬、豆、海苔など)を得ることができれば、嗜好の多様化に対応した各種の無菌製品(蓬餅、豆餅、海苔餅など)の製造が可能となる。一方、我が国では行政上、工業用原料米(加工米)を精白破碎米の状態で供給している。破碎米は、微生物の汚染を受け易く、無菌製品の原料には不向きであるが、高圧を利用することにより低菌化ができれば原料範囲は大きく拡大する。また

* 越後製菓(株)総合研究所(〒947-0193 新潟県小千谷市高梨町1003-1)

同様な方法で、精白による低菌化ができない玄米餅も、熱殺菌に頼らずに無菌化できることになる。このような観点から、餅の工業生産工程に高圧を利用したものである⁷⁾。

(1) 高圧処理による餅の物性変化

一般に、餅の団粒構造は大粒、小粒、そしてこれらを繋ぐ役割のデンプンの糊で構成されている。大粒は弾力性に深く関わり、小粒の粒度は舌触りに、また繋ぎの糊の質で伸展性が決定される。杵搗き直後の軟らかいうちに 400 MPa、10 min の処理を行い、急冷固化すると、空気が排除され消失した。表 1 に示したように、比重は 1.25 から 1.29 に上昇し、湯溶け率は 1/5 以下に減少した。弾力性、伸展性、および総合評価は急冷却区が徐冷却区に比べて優れていた。高圧処理区では透明度の増加した均質な餅となったが、焼き上がりや煮えが早く、同じ水分で比較すると明らかに弾力性の上昇が認められた。

(2) 各種副材料の殺菌条件

工場内に生息するカビや菌は、原料米および副材料(蓬、豆、海苔など)に由来するものが多い。しかし製品からは時により、グラム陰性の水生菌 *Pseudomonas*、植物病原菌の *Erwinia*、グラム陽性の球菌 *Micrococcus*、*Streptococcus*、真菌である種々のカビなどが認められる。即ち、無菌包装に失敗した場合は、二次的な汚染としてカビや植物病原菌、動物由来の球菌などが混入するが、注意して加工した場合は、蒸工程で生き残った穀物由来の菌類だけが検出される筈である。このような観点から、無菌化する場合に指標となる代表的な微生物を選択し、実験した結果、400 MPa、45°C、10 min で芽胞を形成する *Bacillus* 属以外の微生物は殺菌が可能であった。さらに、耐熱性の芽胞菌に対し実際の生産の場合を考え、品質や熱利用の合理性、温度勾配や熱伝達速度、タンパク質、脂質、塩類および火雑物などによる殺菌効果の減衰を考慮した結果、青豆については、70°C、700

MPa、10 min の条件で、また蓬と青海苔粉については炭酸水素ナトリウムの添加により 45°C、400 MPa、10 min の条件で、加熱殺菌に比べて色、香り、そして味を損なわずに低菌化できるという結果を得た。

(3) 加工米および玄米を原料とする餅の無菌化

現在、餅の工業的な無菌化レベルは製品 1 kg 当たり 1 コロニー (cfu) 以下であり、混釈法では検出効率が低い。したがって、標準寒天培地 (SMA) のシャーレに各工程から薄切りにした製品 5 g を 10 検体ずつ採取し、32°C で 2~3 日培養して測定した。玄米餅の例を図 1 に示したが加工米の餅も同じく、70°C、400 MPa、10 min で実用性のある無菌レベルに入ることを確認した。玄米餅は、従来の加熱殺菌処理のものに比べて色が明るく風味に優れていた。

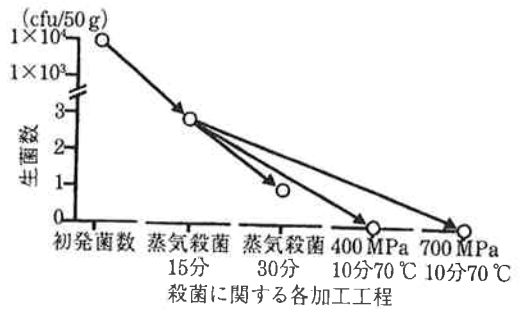


図 1 玄米の各加工工程での生菌数の変化
矢印は次の処理工程を示す

2. 高圧処理を利用した米菓の製造

米菓は、原料がうるち(粳)米である“せんべい”と、もち(糯)米である“あられ、おかき”の二つに大別される。平安時代から製法の大筋は変わらず、一度米を蒸して成形したのち、再度焙焼処理を行なって製造している。即ち、米菓はクッキーやスナック類の菓子とは異なる

表 1 無処理と高圧処理による餅の物性の比較

処理区分		比重(25°C)	水分含量(%)	気泡量(cm ³ /100 g)	湯溶け率(%)	伸展性	弾力性	総合評価
急冷却区	無処理区	1.25	42.2	2.92	10.2	◎	◎	優
	高圧処理区	1.29	42.3	0.00	1.8	◎	◎	優
徐冷却区	無処理区	1.24	42.5	3.04	11.0	×	×	不可
	高圧処理区	1.28	42.3	0.60	2.1	△	○	可

急冷却区 ; 2°C で 36 時間の冷却固化, 徐冷却区 ; 30°C で 12 時間保持後 2°C で 36 時間, 高圧処理区 ; 400 MPa, 10 min 処理

り、製造工程に二回の糊化工程を含むため、加工時間が長く、かつ煩雑である。また、現在の加工技術では、一度の糊化での製造は不可能である。

本研究では、高圧処理によりデンプンが変性することに着目し、加圧による米粒の変化と粉碎特性および加工適性を調べ、せんべいの製造における一回目の糊化工程(団子を作るための蒸し工程)を圧力によって代替し、大幅な工程の省力化を行なったものである⁹⁾。

(1) 高圧処理を利用して省力化した“せんべい”の製造

一般的なせんべいの製造工程と高圧処理により短縮した工程を並記して図2に示す。点線の部分が既存の製法であり、中央を短絡する製法が高圧利用の方法である。即ち、一般的な製法は、うるちの玄米を精白し、洗米、浸漬したのちに粉碎機で粉に砕く。この米粉を原料として、一回目の糊化工程である蒸練によって団子を作る。練った団子を特定の大きさに成形し、乾燥して米菓生地とする。ねかせによって水分を均一にし、二回目の糊化工程である焙焼を行なって素焼きの生地を作る。最後に味付けを行ない、乾燥するとせんべいができあがる。高圧処理を利用した製造方法は、前記の浸漬したうるち米を水切りし、高圧処理した後に粉碎機で粉碎し、加水して団子生地を作り、乾燥して焙焼すれば素焼きの生地となる。原料のうるち米は、北陸農業試験場で開発された品種で、スーパーライス計画による極大粒、多収穫のオオチカラを用いたが、他の品種でも製造は可能である。

(2) 圧力処理と団子への加工適性

加水した団子の外観写真を図3に示す。未加圧区(a)

から300 MPa 処理までは団子にならず流動体であったが、500 MPa で若干粘りが感じられ、700 MPa 処理(b)では適度な粘性が生じ、保水性と成形性に優れた団子が得られた。これらの米粉を実際の生産ラインで団子に成形し、焙焼した。未加圧区の団子は、水分が47%以下では成形性がなく団子にできなかった。それ以上では成形できても、短時間のうちに団子の表面に水が遊離し、保型や搬送に不具合が生じた。また水分が52%では、図3に示したように流動体となった。これを焙焼した素焼き生地は、不均一に膨化し、かつ半生状態で食せなかった。即ち、未加圧の米粉から焙焼できる団子を得るには、一度蒸して糊化させることが必要である。一方、700 MPa で処理した米粉では、47~52%の加水で水の遊離しない団子が得られた。これは、蒸した団子と同等の加工適性を持ち、好みの形に成形して焙焼することができた。そして、焙焼した生地からは香味豊かなせんべいができ、食味テストの結果、既存のせんべいに比べて食感、風味とも概ね同等の評価が得られた。図4に製品となったし

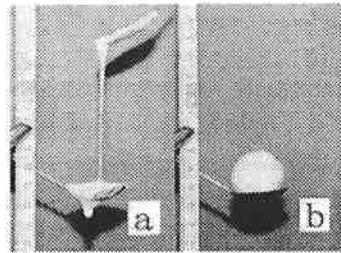


図3 団子生地(水分52%)の写真
a, 未加圧米粉; b, 700 MPa; 10 min 処理

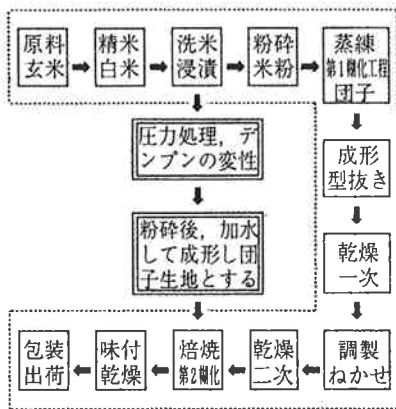


図2 米菓(せんべい)の製造工程

.....で囲んだ部分が既存の製法
——で囲んだ部分が高圧利用による工程

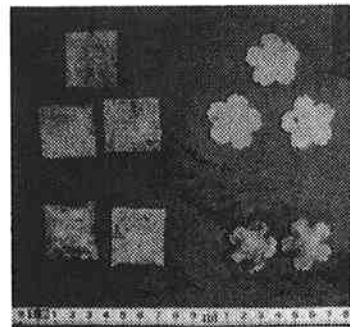


図4 高圧処理(700 MPa, 10 min)を利用して製造した米菓

上, しめもの; 下, うきもの;
右, 型抜き(桜); 左, 平切り(千枚)

めものおよびうきもの写真を示した。

(3) 高圧処理を利用したせんべい生産の経済性

高圧処理によって製造したせんべいのコストを、動力エネルギーおよび労働力について既存品と比較した。製造工程は図2の製造ラインとし、実際の工場経費で試算した。その結果、焙焼工程に総エネルギーの85%が費やされるので、既存の製法に比べ、高圧製法は10%程度の省エネに留まるが、製造工程が大幅に短縮されるために労働力は、60%程度削減されると計算された。

3. 新しい物性を有する米飯の開発

我々は、浸漬米に高圧処理を施して炊飯した米飯（以下、高圧処理炊飯米とする）は、炊飯直後に粘りが増加するが速く硬くなり、しかも無処理で炊飯した米飯とは老化した食感が異なることを経験していた。そして、水分を含ませた米デンプンに400~600 MPa程度の高圧処理を施した場合、デンプンは変性するが、熱での糊化とは異なりDSC（示差走査熱量分析）を用いて比較すると、高圧処理デンプンの融解ピークは0℃付近であり、80~120℃で熱処理したデンプンは0℃以下になることを確認してきた⁹⁾。また、渡辺らは浸漬米に高圧処理を施し（以下、高圧処理浸漬米とする）、これを炊飯すると粘りが増加し、古米の改善に役立つと報告している¹⁰⁾。本研究では、浸漬米に高圧処理を施して無処理の場合と比較し、吸水、炊飯、糊化、老化などの点で異なる部分を明らかにし、新しい物性を有する米飯の開発を試みた¹¹⁾。

(1) 高圧処理炊飯米の外観

無処理（対照）の炊飯米と400 MPaの高圧処理炊飯米の外観を図5に示した。対照（A）では亀裂や破裂が見られるが、高圧処理炊飯米（B）は、ほぼ穀粒の形のまま膨潤していて、米粒に亀裂や破裂の跡が見られない。この外観の差が、対照は米粒の形が不良で光沢がなく、一方、400 MPa圧処理炊飯米では光沢があって各々の粒が

立っている印象を与えるものと考えられた。

(2) テンシプレッサーによる炊飯米の物性

表2に、テンシプレッサーを用いたコシヒカリによる炊飯米の対照および高圧処理炊飯米の炊飯後1時間と24時間後の硬さ（ H_1 ）、粘り（ H_2 ）、ならびにバランス度（ H_2/H_1 ）を示した¹²⁾。炊飯1時間後では対照と比較して高圧処理炊飯米はバランス度が高く、粘りが高かった。これは、高圧処理炊飯米が糯米に類似した食感となるとの渡辺らの結果と同様な傾向を示している。1時間後と24時間後のバランス度を比較すると対照では殆ど変化が認められないにもかかわらず、200、400 MPaでの高圧処理炊飯米のバランス度は低下し、対照に近い値となった。炊飯米の硬さと粘りは時間経過とともに低下するが、高圧処理炊飯米のバランス度の低下は硬さの低下よりも粘りの低下が大きいことに起因している。しかし高圧処理炊飯米は粘りの低下が大きいにもかかわらず、対照よりも相対的に高いために、24時間後になっても老化した米飯を食べた時に感じる崩壊感がなく、弾力性のある食感を残していた。

(3) 高圧処理浸漬米ならびに炊飯米の微細構造

電子顕微鏡で観察すると、400 MPaの高圧処理浸漬米では、圧力処理によって米粒の胚乳細胞が形を崩し、広い範囲で澱粉粒の間に水の浸入した形跡が観察された。

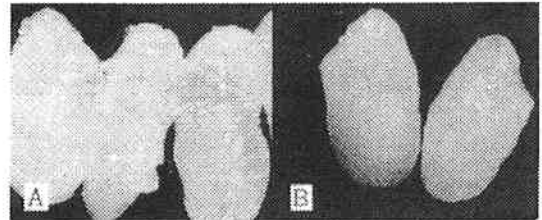


図5 炊飯米の比較

A, 無処理の浸漬米で炊いた米飯；

B, 400 MPa, 10 min 処理の浸漬米で炊いた米飯

表2 無処理（対照）と高圧処理炊飯米の物性の比較

処理区分	炊飯後1時間			炊飯後24時間		
	硬さ, H_1 ($\times 10^3 \text{dyn/cm}^2$)	粘り, H_2	バランス度, H_2/H_1 (-)	硬さ, H_1 ($\times 10^3 \text{dyn/cm}^2$)	粘り, H_2	バランス度, H_2/H_1 (-)
対照	5.95	0.40	0.07	3.86	0.27	0.07
200 MPa, 10 min	5.12	0.55	0.11	4.97	0.33	0.07
400 MPa, 10 min	6.15	0.60	0.10	4.81	0.28	0.06
600 MPa, 10 min	5.56	0.80	0.14	3.46	0.46	0.13

600 MPaの高圧処理浸漬米では、澱粉粒が変形して膨潤したように観察された。また高圧処理炊飯米では対照と比較して米粒中の空隙が大きく、胚乳細胞の形が崩壊していた。拡大すると、対照では未膨潤の澱粉粒が残り、糊のネットワークの壁が薄く空隙は小さかった。しかし、高圧処理炊飯米では、部分的に厚い壁で構成された糊のネットワークが認められた。このように高圧処理炊飯米は、圧力によって米粒内の澱粉に強制的な水和が生じ、炊飯時に糊化が進行したものと推察された。

(4) 米加工産業への利用

(i) 米粒のように複雑な組織の澱粉粒に均等に吸水させる手段として、圧力処理が有効である。これを利用することにより、炊飯加工での浸漬時間の短縮化、米菓や餅の製造工程の連続化、品質の安定化などが促進できるものと考えられる。また、吸水の悪い古米、インディカ米についてもこの圧力変性を併用することで、バランスの高い炊飯米を作ることができると思われる。

(ii) 高圧処理浸漬米は、炊飯すると粘りのある均一なご飯に炊き上がる。外観は光沢があって美しく、その後5~15°Cに保存すると、硬化は速いが弾力性のある食感が残り、美味しいことが確認された。これは、外食産業やコンビニエンスストアなどで販売時間や消費期限の延長を促し、廃棄品の減少に寄与すると考えられる。

(iii) 高圧処理浸漬米は、高圧によるデンプンの変性が炊飯時の糊化を促進する。しかし粘りが増加しても外部への溶出物は認められず、内部の変化での現象である。糯米についても同様な傾向が得られており、工業的にはこれらの新しい炊飯米の物性は、粒形が保たれていて作業性が良いので、多様な具材と混合し易く、また計量の効率化を促進できる。さらに将来、低カロリーを目的とした多加水の米飯開発にも利用できると思われる。

4. 高圧処理による吸水性に優れた玄米の製造

玄米食は多くの人々に支持されている。最近では米に含まれる薬理物質やその効果についての研究も進み、高コレステロール、高血圧症、便秘、過酸化脂質の増加、老化に伴う免疫力の低下などの対策として、玄米に含まれる生理活性物質の機能が見直されている¹³⁾¹⁴⁾。しかし玄米は吸水に時間を要すること、および果皮、種皮、糊粉層によって胚乳中の澱粉の膨潤が阻害され、炊飯性に劣るなどの欠点がある。また圧力釜などによる100°C以上の加熱は、ビタミンや栄養素の破壊、脂質の酸化、蛋白質の分解などを促し、分子レベルの汚れ¹⁵⁾による人体への影響が懸念されている。また玄米の生菌数は多く、

常温での長期保存が困難である。本研究は高圧により、上記の欠点を改良し、調理性や保存性に優れた物性の玄米を製造したものである¹⁶⁾。さらに、血圧降下作用のある γ -アミノ酪酸の生成についての確認を行なった。

(1) 高圧処理による玄米の低菌化と吸水性の向上

水に浸けたままの米粒に圧力処理を施すと米粒内部の空隙が水と置換され、澱粉や蛋白質が強制的に水和され圧力変性を受ける。浸漬前の米粒は一般に15%前後の水分であるが、炊飯できる米粒の水分は約30%である。前述の高圧処理浸漬米の結果から600 MPaの処理を施すことで浸漬米の水分を上昇させることは可能である。さらに微生物数を低減させる条件は、前述の玄米餅の低菌化の実績から70°C、400~700 MPa、10 minであることが知られている。また、熱水によるブランチング処理も低菌化に有効である¹⁷⁾。以上の条件から、玄米を洗浄した後、熱水に2~3分浸漬するブランチングを行い、さらに65°C、600 MPa、10 minの圧力処理により水分の含浸と低菌化を達成した。またリパーゼやリポキシゲナーゼなどの酵素によって表面の油が酸化や加水分解を受け易いので、この対策としても65°C、600 MPaの処理は重要である。この製法では、製造直後の過酸化値は1~2 meqであり、常温保存で1ヶ月の市販の玄米が30 meq程度であるのに比べてはるかに安定している。しかし長期保存のためには、ガス置換または脱酸素剤を用いた包装形態が望ましい。

(2) 高圧処理玄米の炊飯性と吸水性の確認

高圧処理玄米の糊化温度や粘性をアミログラフで調べると、82.5°Cで300 BUの粘性を示した。これは白米と同程度であり、炊飯に圧力釜は不要ことがわかる。図6に高圧処理玄米と未加工玄米、および白米の吸水性を

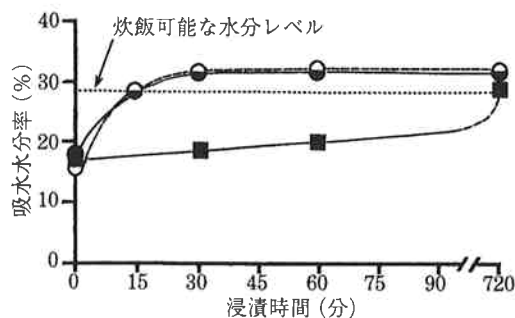


図6 浸漬時間による給水水分の変化(水温18°C)

○, 白米; ●, 600 MPa, 10 min 処理の玄米;
■, 未加工玄米

比較してグラフに示した。白米および 600 MPa, 10 min の高圧処理を施した玄米は、水温 18°C の時、約 15 分の浸漬時間で炊飯可能な水分を吸収している。したがって、この玄米は、白米と自由な比率で混合し、普通の炊飯器で炊飯できることとなった。同様な水分を吸収するには、未加工の玄米では 12 時間を要する。

(3) 玄米中の γ -アミノ酪酸 (GABA) の生成

GABA は、甲殻類の神経接合部、哺乳動物の小脳、海馬などに多く存在する抑制性神経伝達物質¹⁸⁾として知られており、経口投与によって血圧の降下作用が確認されている。そして、玄米、お茶の葉、おもだか、かぼちゃ、などの植物に含まれている。三枝らは、米の胚芽を 40°C の水中で保存し、GABA が増加することを見だし¹⁹⁾、斎藤らは、ラットに投与して血圧降下作用が認められたものは玄米、胚芽米、お茶、であったと報告している²⁰⁾。GABA は、グルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) の働きでグルタミン酸から生成され、40°C 付近での生成効率が高いといわれている。しかし、我々の実験からは 0°C でも GABA が生成され、GAD の活性が確認された。これは低温域で微生物の増殖を抑えながら GABA が生成できることを示している。図 7 に玄米中の GABA の増加量を示した。各処理に大きな差異はなく 700 MPa 以下の圧力処理が GABA の生成に影響しないことが示された。市販品の GAD は、水溶液中で 600 MPa 以上になると活性が抑制されたが、米粒の中の GAD は、700 MPa, 10 min の処理に耐えることが確認された。この結果を利用して、高圧処理により GABA を含む炊飯性に優れた玄米 (品名：ふつうに炊ける玄米) を完成することができた。

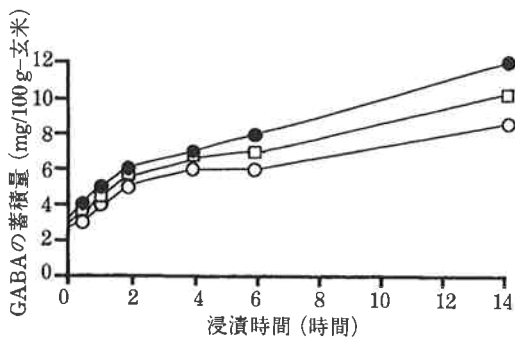


図 7 浸漬時間による玄米中の GABA の増加 (25°C)

○, 未加工玄米; ●, 400 MPa, 10 min 処理;
□, 700 MPa, 10 min 処理

5. おわりに

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。ここでは米加工食品に高圧処理を利用し、新しい餅製品や省エネルギーでの米菓の製造方法、および各種の米飯や吸水性に優れた玄米の開発と実用化について紹介した。詳細については文献を参照していただきたい。これを契機に、香りや色、味や食感を生かした新しい高圧利用の食品が生まれることを期待している。

本研究を纏めるにあたりご指導いただいた、長岡技術科学大学の山田明文教授、農林水産省食品総合研究所の大坪研一氏ならびに農林水産省東北農業試験場の石谷孝佑氏に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 中川原捷洋：米のはなし I, 横尾政雄編 (技報堂出版, 東京), p.106 (1989).
- 2) 林 力丸：食品への高圧利用 (さんえい出版, 京都), (1989).
- 3) 堀江 雄・木村邦男・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, 東京), p.336 (1991).
- 4) 小川浩史・福久一馬・笹井且夫・久保与祇則・福本治次：加圧食品, 林 力丸編 (さんえい出版, 京都), p.179 (1990).
- 5) 山崎 彬：高圧力の科学と技術, 6, 128 (1997).
- 6) YAMAZAKI, A., YAMAMOTO, K. and YAMADA, A.: *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 42, 369 (1995).
- 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), p.328 (1994).
- 8) 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 滋ら編 (さんえい出版, 京都), p.336 (1994).
- 9) 山崎 彬・笹川秋彦・山田明文：熱測定, 23, 149 (1996).
- 10) WATANABE, M., ARAI, E., HONMA, K. and FUKU, S.: *Agric. Biol. Chem.*, 55, 2725 (1991).
- 11) 山崎 彬・杵淵美倭子・山本和弘・山田明文：高圧力の科学と技術, 5, 168 (1996).
- 12) 磯野 仁・大坪研一・岩崎哲也・山崎 彬：日食工誌, 41, 485 (1994).
- 13) 鈴木雅子：栄養と食糧, 35, 155 (1982).
- 14) 村元 学・河村幸雄：食品工業, 11, 18 (1991).
- 15) 林 力丸：食品への高圧利用 (さんえい出版, 京都), p.26 (1989).

- 16) 山崎 彬: 高圧力の科学と技術, 6, 182 (1997).
 - 17) 山崎 彬: 高圧力の科学と技術, 8, 57 (1998).
 - 18) 田中千賀子・加藤隆一: NEW 薬理学 (南江堂, 東京), p. 140 (1994).
 - 19) SAIKUSA, T., HORINO, T. and MORI, Y.: *J. Agric. Food Chem.*, 42, 1122 (1994).
 - 20) 齊藤ひろみ・小久保清子・中田裕子・大森正司・三枝貴代・堀野俊郎・森 隆: 日本食品工業学会第42回大会講演要旨集, p. 139, 名古屋 (1995).
- (平成10年3月16日受理)
-