

圧力処理によるキムチの発酵制御とその特徴

Fermentation Control of Kimchi by High-Pressure Treatment and Characteristics

笹川 秋彦¹

Akihiko SASAGAWA¹

星野 純²

Jun HOSHINO²

小林 篤²

Atsushi KOBAYASHI²

西海 理之³

Tadayuki NISHIUMI³

鈴木 敦士³

Atsushi SUZUKI³

藤井 智幸⁴

Tomoyuki FUJII⁴

小西 徹也⁴

Tetsuya KONISHI⁴

山崎 彬^{2,*}

Akira YAMAZAKI^{2,*}

山田 明文¹

Akifumi YAMADA¹

The commercial-scale feasibility of high-pressure treatment to fermented foods was investigated, with attention given to the fact that the pressure resistance varies with the kind of microorganism. Kimchi was chosen because lactic acid bacteria had been found to be separated from yeast by pressure application of 300 MPa (20°C), and subjected to pressure treatment to investigate the microbiological, physicochemical and sensory changes with the progress of fermentation. Pressure application of 300 MPa (20°C) to Kimchi for 5 minutes slightly decreased the number of lactic acid bacteria, while completely inactivated the yeast to prevent expansion of the Kimchi-containing package during the storage. The pressure treatment also reduced the generation of lactic acid, the drop in pH value and the decrease of glucose and fructose contents. Although the pressure-treated Kimchi showed increased color difference and translucence, the breaking stress was not changed. The sensory tests demonstrated the advantages of pressure-treated Kimchi, to confirm the improvement of shelf life of Kimchi.

[high-pressure treatment, fermentation, lactic acid bacteria, yeast, kimchi, sensory test]

1. はじめに

本研究は、微生物が関与する発酵過程を圧力処理によって制御し、発酵食品への圧力利用の有効性について実用化の観点から検討したものである。

発酵食品は、味噌、醤油、食酢を始め、酒、発酵

乳、納豆、塩辛、漬物などに至るまで、世界的に重要な位置を占めている。ここで取り上げたキムチは、日本の漬物の中でも、急速に生産量が増大しており、1999年には浅漬を上回り、2001年には35万トンに達し、漬物市場の約30%を占めるに至った[1]。しかし、日本で製造されているキムチの多くは、白菜

¹ 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学大学院
Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka-shi, Niigata 940-2188

² 〒947-0193 新潟県小千谷市高梨町 1003-1 越後製菓(株) 総合研究所
Research Institute, Echigoseika Co., Ltd., 1003-1 Takanashi-machi, Ojiya-shi, Niigata 947-0193

³ 〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐 2-8050 新潟大学農学部 応用生物化学科
Department of Applied Biological Chemistry, Faculty of Agriculture, Niigata University, 2-8050 Igarashi Niigata-shi, Niigata 950-2181

⁴ 〒956-8603 新潟県新潟市東島 265-1 新潟薬科大学応用生命科学部 食品科学科
Department of Food Science, Niigata University of Pharmacy and Applied Life Sciences, 265-1 Higashishima Niigata-shi, Niigata 956-8603

*Electronic address: kenkyu@echigoseika.co.jp

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、殆ど熟成されていない[2, 3]。

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[3]、発酵には様々な微生物が関与している[4]。発酵したキムチは長期の保存によって酸味が強く感じられるようになり、包装体で密封した場合は、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[5]。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なう *Leuconostoc* 属、*Lb. Brevis* などの乳酸菌がガスを生成するためである[6]。

しかし、キムチの発酵を制御するために、加熱殺菌を行なうと、風味や食感が顕著に低下する。そこで、長期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[7]。また、非加熱殺菌の方法として、 γ 線の照射[8]や、高圧二酸化炭素処理[9]、圧力（静水圧）処理[5, 10, 11]などの研究例が報告されている。

圧力処理は、圧力が水などの溶媒を媒介として被処理物へ瞬時に隅々まで一様に伝わるので、偏りがなく均一な処理が可能である。圧力処理は、微生物の殺菌効果の他に、寄生虫の殺虫効果もあることが知られており[12]、25℃で200 MPa、5分間の圧力処理により、旋毛虫の筋肉内幼虫が死滅すると報告されている[13]。漬物への圧力処理は、キムチの他に、しょう油もろみ漬けやしば漬け[14, 15]、野沢菜漬け[16]などへの応用例が報告され、近年では400 MPaの圧力処理により殺菌した生たくあんが市販化された。

ここでは、発酵段階の異なる2種のキムチに圧力処理を施し、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、キムチの品質に及ぼす圧力処理の影響を調べた。キムチの品質を微生物学的特性、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。

2. 実験方法

2.1 供試材料

Table 1 に、キムチに用いた原料の重量とその配合比を示した。主原料には、茨城県産の白菜を使用した。副原料には、大根、塩辛、果物等を、香辛料には、唐辛子、にんにく、ねぎ、にら等を使用し、すべて平成15年度産の市販品を用いた。調味料に

は、甜菜糖、並塩を用いた。

2.2 キムチの調製

新潟県内の漬物メーカーの協力により、Fig. 1の工程に従い、70 kgのキムチを調製した。すなわち、5%の食塩水に2日間下漬けした株付きの白菜を軽く水洗後にザルを用いて水切りし、それに副原料と調味料を混ぜたものを塗して、樹脂製の桶に漬け込み、重石を乗せずに0~3℃の冷蔵庫で発酵、熟成させた。漬込み開始から6日目（以下、発酵初期と称す）および27日目（以下、発酵中期と称す）に桶から取り出し、約5 cmの長さに切断し、軟質樹脂製袋（ガスバリア性ポリプロピレン）に約200 gを入れ、脱気後に密封した。

2.3 菌体懸濁液の調製

発酵を制御するのに最適な圧力処理条件を求めるため、乳酸菌及び酵母の菌体懸濁液を調製した。

乳酸菌については、MRS 寒天培地（日水製薬㈱製）を用いて仕込み直後のキムチから分離したものを、MRS 液体培地を用いて37℃で36時間培養した。酵母については、*Saccharomyces cerevisiae* KA31を選択し、YPD 液体培地（Difco 社製）を用いて30℃で48時間培養した。

得られたそれぞれの培養液について、菌体濃度が 10^7 CFU (Colony Forming Unit)/ml になるように生理食塩水で希釈し、これを軟質樹脂製袋に10 mlずつ分包して脱気後に密封した。

Table 1. Ingredients of kimchi.

Ingredients	Weight(kg)	Mixing ratio(%)
Salted Chinese cabbage	53.13	75.9
Other ingredients	10.15	14.5
Radish		
Fermented fish products		
Fruits		
Others		
Spices	5.67	8.1
Red pepper		
Garlic		
Green onion		
Leek		
Others		
Sugar	0.56	0.8
Salt	0.49	0.7
Total	70.00	100.0

2.4 菌体懸濁液およびキムチの圧力処理

高圧処理装置 (Dr. WIP, (株)神戸製鋼所製) を用いて, 密封包装した菌体懸濁液 (10 ml) に, 20°C で 300 MPa の圧力処理を施した。また, 食品工業用連続高圧処理装置 (CP900 型, (株)神戸製鋼所製)[17, 18] を用いて, 密封包装したキムチ (200 g) を, 20°C で 300 MPa, 5 分間の圧力処理を施した。なお, 昇圧および減圧の時間は, 各々 2 分間とした。

2.5 圧力処理したキムチの冷蔵保存

圧力処理後のキムチ (以下, 圧力処理区と称す) を包装体のままで 10°C の冷蔵庫で保存した。1 日経過したキムチ (保存 1 日目) を各種の実験に供し, 保存期間は 62 日間までとした。また, 圧力処理を施さないキムチ (以下, 無処理区と称す) も同様に保存し, その後, 所定の日数が経過したキムチの経時変化を調べ, その品質を評価した。

2.6 生菌数の測定

2.6.1 菌体懸濁液中の菌数測定

BPC 加工プレートカウント寒天培地 (日水製薬(株)製) を用いた混釈法[19] により乳酸菌を培養し,

酵母についてはコンパクトドライ YM (日水製薬(株)製) を用いて生育したコロニー数を計測した。なお, 生菌率は圧力処理後のコロニー数 N を処理前の初発のコロニー数 N_0 で除して対数で表示した。

2.6.2 キムチ中の菌数測定

キムチ 5 g に生理食塩水を加え, ブレンダー (Ace HOMOGENIZER, 日本精機(株)製) を用いて磨砕 (10,000 rpm, 室温, 5 分間) した。乳酸菌の生菌数は MRS 寒天培地 (OXOID 社製) を用い, 酵母の生菌数は 100 ppm クロラムフェニコールを加えたポテトデキストロース寒天培地 (栄研化学(株)製) を用いて培養した後にコロニー数を計測した。

2.7 乳酸含量および糖含量の測定[20]

100 g の試料を凍結乾燥させた後, 80% メタノール溶液で還流抽出を行なった。抽出液を遠心分離 (3000 rpm, 室温, 10 分間) し, 上澄み液をエバポレーターで蒸発乾固した。次いでこれを超純水で洗い出し, 孔径 0.45 μm のフィルター (DISMIC-13HP, 東洋濾紙(株)製) で濾過した。濾液を, 固相抽出カラム (ボンドエルト C18 EWP, ジーエルサイエンス(株)製) にて再濾過し, 高速液体クロマトグラフ (C-R7A/CL10, (株)島津製作所製) で測定した。乳酸の測定には, Shodex RS pak KC-811 (内径 8 mm \times 300 mm) のカラムを 2 本使用し, 移動相を 3 mM 過塩素酸水溶液 (1.0 ml/min), 発色試薬を 0.2 mM BTB 含有 15 mM リン酸水素 2 ナトリウム水溶液 (1.5 ml/min) とし, 445 nm で吸光度を測定した。糖の測定には, Shodex Sugar KS-801 (内径 8 mm \times 300 mm) のカラムを使用し, 移動相を超純水 (0.7 ml/min) とし, 示差屈折計 (RI-2031 型, 日本分光(株)製) を用いて, Polarity(+) の検出条件にて測定した。

2.8 pH の測定

30 g のキムチに蒸留水を 70 ml 加え, ブレンダーを用いて磨砕 (10,000 rpm, 室温, 5 分間) し, 懸濁水をガラス電極法で測定した。

2.9 色調の測定

分光測色計 (CM-2500d, ミノルタ(株)製) を用いて, 白菜の葉柄部の L^* 値, a^* 値, b^* 値を測定した。無処理区の保存 0 日目の試料を基準とし, 色差 (ΔE) を求めた。なお, 各測定を 3 回行い, 色差の

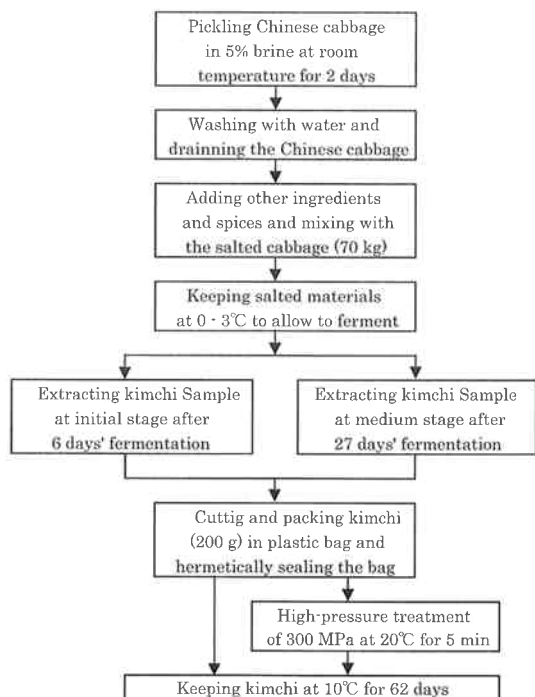


Fig. 1. Process for preparation of kimchi with and without pressure-treatment.

平均値と標準偏差を求めた。

2.10 硬さの測定

レオメーター (NRM-2000J, 不動工業(株)製) を用いて、キムチの破断応力を測定した。すなわち、厚さ約 3 mm の白菜の葉柄部に、速度 30 cm/min で直径 3 mm のプランジャー [14, 16, 21, 22] を垂直にクリアランス 0.3 mm まで侵入させて破断応力を測定し、 $n = 8 \sim 12$ の平均値と標準偏差を求めた。

2.11 官能検査

外観、香り、食感、酸味、甘味、旨味、および総合評価という 7 項目についてキムチの官能検査を行った。なお、パネラーが喫食している普段のキムチを普通 (評点 3) とし、非常に悪い (弱い) から非常に良い (強い) の程度を 5 段階のカテゴリー尺度の評点法 (1~5) により評価した。パネルを男女計 12 名とし、各項目の評点の平均値を求めて t 検定を行った。なお、酸味は評点が大いほど酸味が強く、食味が劣ることを示している。

3. 結果および考察

3.1 圧力処理条件の検討

生理食塩水に懸濁した乳酸菌と酵母に 20°C で 300 MPa の圧力処理を施し、圧力の保持時間と生菌率との関係を調べた結果を Fig. 2 に示した。乳酸菌は保持時間が 4 分間程度までは耐圧性を示し、それ以降で急激に減少する傾向を示した。一方、酵母は保持時間に伴って一次速度式に従って不活化され、1 分間の圧力保持により生菌数が 4 桁減少した。

乳酸菌は 300 MPa の圧力処理に対して、処理時間が短い場合は圧力処理後の培養によって培地中にコロニーを形成する増殖能を維持しているが、処理時間が長い場合は菌体が損傷を受け不活化すると考えられた。一方、酵母は 300 MPa の圧力処理によって不活化されることが既に数多く報告されている [23~26]。

このように、300 MPa の圧力処理において、保持時間を調節することでキムチ中の酵母を選択的に不活化させ、キムチの熟成に必要な乳酸菌を残すことができた。また、アフターアシディフィケーション (酸度が上昇する現象) [27] を遅らせるために、乳酸菌の一部も不活性化できるので、以後の実験におけるキムチの処理条件を 20°C で 300 MPa、5 分間の圧

力保持とした。

3.2 キムチ中の微生物の経時変化とガスの発生による包装体の膨張

キムチを圧力処理後に 10°C で保存し、それに存在する乳酸菌と酵母の生菌数の経時変化ならびにガスの発生による包装体の膨張を観察した。

3.2.1 乳酸菌の生菌数の経時変化

キムチ中の乳酸菌数の経時変化を Fig. 3(a) に示した。

発酵初期の無処理区のキムチは、乳酸菌数が約 10^8 CFU/g であったが、保存 62 日目には約 10^6 CFU/g にまで減少した。一方、圧力処理区のキムチでは、乳酸菌数が保存 1 日目に約 2 桁減少したが、その後の保存期間中に 1~2 桁程度の変動を伴って増加し、41 日目以降で初発時と概ね同数になった。

発酵中期の無処理区のキムチは、保存中も概ね初発の菌数を維持していた。圧力処理区のキムチでは、乳酸菌が保存 1 日目で約 10^7 CFU/g にまで減少、その後はさらに減少が続いて、29 日目では約 10^5 CFU/g にまで減少した。しかし、その後は増加し、保存 41 日目以降で初発と概ね同数になった。

キムチの乳酸菌叢の変化は、その熟成に伴い、主にヘテロ発酵乳酸菌 (球菌)、ホモ発酵乳酸菌 (桿菌)、ヘテロ発酵乳酸菌 (桿菌) の順で進行してい

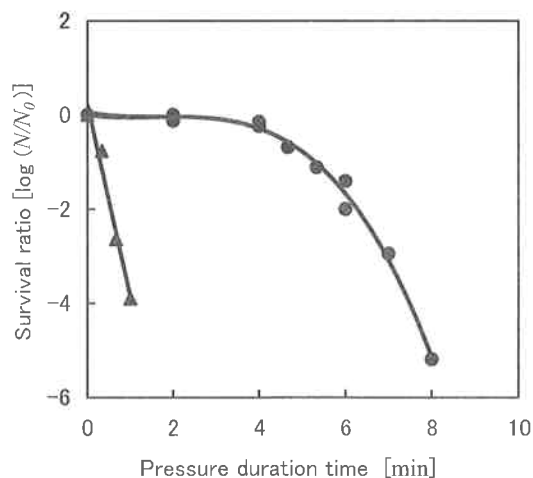


Fig. 2. Relationship between survival ratio of lactic acid bacteria and yeast and pressure duration time of 300 MPa at 20°C.

●, Lactic acid bacteria; ▲, Yeast.

くことが知られている[4]。Shon ら[10] は、純水中あるいはキムチ汁中に懸濁した4種類の乳酸菌に圧力処理(100~600 MPa, 25°C, 10 分間)を施した結果, *L. mesenteroids* (ヘテロ型発酵, 球菌), *Lb. Brevis* (ヘテロ型発酵, 桿菌), *Lb. Plantarum* (ホモ型発酵, 桿菌), *Ped. Cerevisiae* (ホモ型発酵, 球菌)の順に耐圧性を示すことを報告している。これらのことから, Fig. 3(a)の圧力処理後の菌数の低下は, *L. mesenteroids* などの耐圧性の低い乳酸菌によるもので, その後の保存で見られる菌数の増減は菌叢の変化による可能性が考えられた。

3.2.2 酵母の生菌数の経時変化

キムチ中の酵母数の経時変化を Fig. 3(b)に示した。発酵初期の無処理区のキムチは, 酵母数が約 10^2 CFU/g であったが, 保存13日目で約 10^6 CFU/g に増加した。発酵中期の無処理区のキムチは, 酵母数が約 10^5 CFU/g であったが, 6日目で約 10^7 CFU/g に増加した。一方, 圧力処理を施した発酵初期および発酵中期のキムチの両者で, 酵母数は保存1日目で 10^0 CFU/g 以下にまで減少し, その後の保存でも増加は見られなかった。

Shon ら[10] は, 15%食塩水に漬込んだ白菜で試作したキムチに600 MPaの圧力処理を25°Cで10分

間施しても, 酵母数が減少し難いことを報告している。一方, 早川ら[23]は味噌に圧力処理(200~500 MPa, 25°C, 30 分間)を施した結果, 食塩の添加に伴って酵母の耐圧性が増加すると報告している。これらのことから, 本実験で調製したキムチの塩分は2.5%であり, 塩分濃度が低いために, キムチ中の酵母が300 MPaの圧力処理でも不活化されたものと考えられた。

3.2.3 ガスの発生による包装体の膨張

無処理区のキムチにおいて, 発酵初期のキムチでは保存13日目以降で, 発酵中期のキムチでは6日目以降で, それぞれガスの発生による包装体の膨張が見られた(Fig. 3に矢印を付記)。一方, 圧力処理区のキムチは保存期間中にガスが発生することにはなかった。

Shon ら[10] は, 酵母および乳酸菌を含むキムチに200 MPa以上の圧力処理を25°Cで10分間施し, 炭酸ガスの生成が極度に減少したことについて, 乳酸菌が圧力処理により部分的に損傷して炭酸ガスを生産できない, あるいはヘテロ発酵が選択的に妨げられたと考察している。しかしながら, Shon らは, 酵母の発酵によるガスの発生の可能性については言及していない。一方, 北村ら[24]は味噌に400 MPa

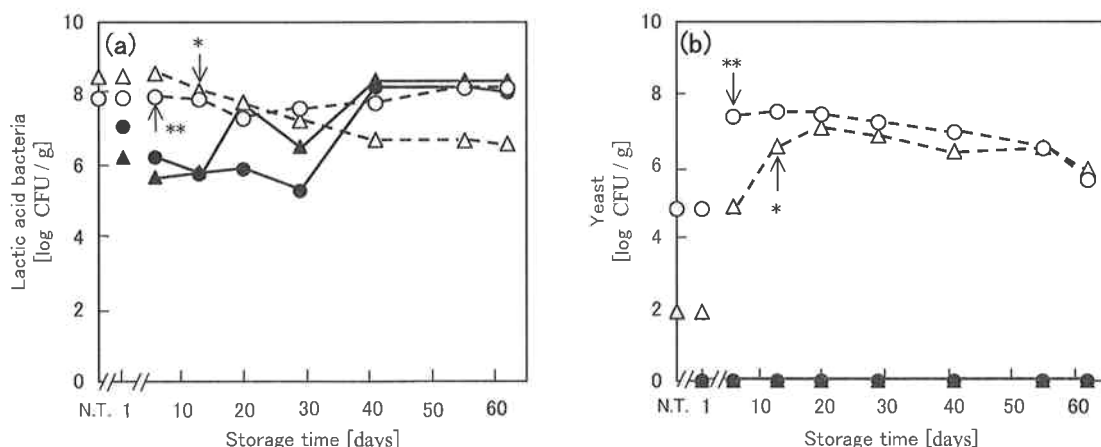


Fig. 3. Changes in the viable cell numbers of lactic acid bacteria and yeast in kimchi during storage at 10°C.

(a), Lactic acid bacteria; (b), Yeast.

---△--- Non-treated group (initial)

---○--- Non-treated group (medium)

—▲— Pressure-treated group (initial)

—●— Pressure-treated group (medium)

Initial, extracted at the initial stage of fermentation; medium, extracted at the medium stage of fermentation.

*, The day when gases were generated to expand the bag containing the non-treated kimchi at the initial stage of fermentation.

**, The day when gases were generated to expand the bag containing the non-treated kimchi at the medium stage of fermentation.

N.T., No treatment.

の圧力処理を30分間施した結果、包装体が膨張しなかったことから、酵母が圧力によって損傷し、増殖できずに静菌状態になったものと考察している。また、松本[15]は、しょう油もろみ漬け（塩分6.6%）としば漬け（塩分5.1%）を圧力処理した結果、300 MPaで10分間の圧力処理では酵母が残存しているために包装体の膨張が認められたと報告している。

本実験では、キムチ中の酵母が圧力処理で完全に不活化すること、ヘテロ型発酵を行なう乳酸菌は耐圧性が低いことなどが明らかにされているので、無処理区のキムチにおけるガスの発生は、主に酵母に起因していると推察された。これらのことから、キムチに圧力処理を施すことにより、発酵に必要な乳酸菌を残存させたまま、キムチ中に存在する酵母を不活化させ、ガスの発生を抑制できることを確認した。

3.3 キムチの各種成分の経時変化

3.3.1 乳酸含量とpHの経時変化

キムチは、食味の良否に乳酸含量が影響を及ぼすと考えられている[28]。キムチの発酵によって生成される有機酸は、乳酸を主として、クエン酸、リン

ゴ酸などの不揮発性の酸と、揮発性の酢酸、酪酸などであり、これらが複合して酸味として感じられる[28]。そこで食味の良否を示す乳酸含量と酸味の度合いを示すpHを測定した。

3.3.1.1 乳酸含量

キムチの乳酸含量の経時変化をFig. 4(a)に示した。

発酵初期の無処理区のキムチは、乳酸含量が乾物キムチ100g当たり約2gであり、保存に伴って増加し、保存41日目で最大値を示し、それ以後は減少した。一方、圧力処理区のキムチでは、保存中の乳酸含量が無処理区と比較して少なく、保存29日目以降で増加し始め、54日目で最大値を示した。

発酵中期の無処理区のキムチは、乳酸含量が乾物キムチ100g当たり約3gであり、保存に伴って増加し、保存54日目で最大値を示し、それ以後は減少した。一方、圧力処理区のキムチでは、発酵初期のキムチと同様に、保存中の乳酸含量が無処理区と比較して少なく、保存42日目以降で増加し始め、54日目で最大値を示した。

全ての試料において、乳酸含量は乳酸菌の発酵によって増加し、最大値を示した後に減少した。乳酸

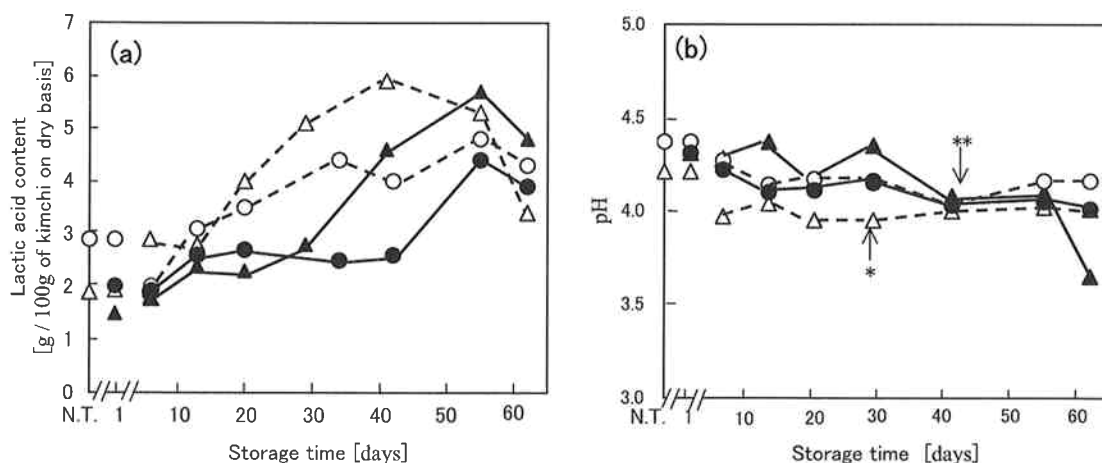


Fig. 4. Change in lactic acid content and pH of kimchi during storage at 10°C.

(a), Lactic acid content; (b), pH.

--△-- Non-treated group (initial)

--○-- Non-treated group (medium)

—▲— Pressure-treated group (initial)

—●— Pressure-treated group (medium)

Initial, extracted at the initial stage of fermentation; medium, extracted at the medium stage of fermentation.

*, The day when the degree of sourness of the non-treated kimchi at the initial stage of fermentation was evaluated as too high in the sensory tests.

**, The day when the degree of sourness of the non-treated kimchi at the medium stage of fermentation was evaluated as too high in the sensory tests.

N.T., No treatment.

は発酵基質として微生物に利用され、酪酸やプロピオン酸へと変化することが知られおり[29]、長期の保存では微生物の代謝によって、乳酸が減少したものとされた。

また、圧力処理区のキムチでは、無処理区のキムチと比較して、乳酸含量が少ない傾向にあり、前述の圧力処理による乳酸菌の菌数の低下や損傷、菌叢の変化によるものと思われた。また、その後の保存期間における乳酸含量の増加は、菌数の増加や損傷した乳酸菌の回復によるものと考えられた。ヨーグルトに 200 MPa 以上の圧力処理を施すことにより、アフターアシディフィケーションを抑えることが知られており、圧力処理により乳酸菌へのストレスや増殖能および乳酸発酵能が抑制されていることが原因であると報告されている[27]。

これらのことから、圧力処理によりキムチの酸味の抑制が期待でき、長期の保存が可能になることが示唆された。

3.3.1.2 pH

キムチの pH の経時変化を Fig. 4(b) に示した。

発酵初期の無処理区のキムチでは、初発の pH が 4.2 であったが、保存 6 日目には 4.0 に低下し、その後は顕著な変化は見られなかった。一方、圧力処理区のキムチでは、保存 30 日目までは pH が 4.3~4.4 の比較的高い pH を維持した後、41 日目で pH が 4.1 となり、62 日目で 3.7 に低下した。

発酵中期の無処理区のキムチでは、初発の pH が 4.3 であり、保存 41 日目までは、無処理区と圧力処理区との間に差異が少なく、pH は徐々に低下した。保存 62 日目では、無処理区の pH が 4.2、圧力処理区は 4.0 であった。

キムチの喫食に適した酸味の pH は、報告によって異なるが、概ね 4.0~4.5 程度である[3, 28, 30, 31]。キムチの発酵が進み酢酸菌の増殖が活発になると、酢酸の生成により酸味が強くなり、pH は 4.0 以下になるが、キムチの喫食は可能であると報告されている[28]。本実験では、保存によって乳酸発酵や酢酸発酵などが進んで pH の低下が見られ、発酵初期における圧力処理区のキムチでは、保存 62 日目で pH が 4.0 以下となったが、それ以外の保存期間では概ね 4.0~4.4 で推移した。

これらの結果から、発酵初期のキムチは発酵中期のキムチと比較して、乳酸含量が保存に伴って増加し、pH が低下し易い傾向にあった。しかし、圧力

処理を施すことによって乳酸の生成を抑えることができ、キムチの保存による酸味の過度の増加を防止できることが示唆された。

3.3.2 遊離糖含量の経時変化

キムチの発酵に伴い、原料からグルコース、フルクトース、マンノースが遊離する[32]。原料由来もしくは微生物由来の酵素による遊離糖の生成、ならびに微生物の代謝による遊離糖の減少など、発酵段階に応じて遊離糖含量に変化があるものと思われる。また、キムチの食味における甘味にも影響を及ぼすことから、代表的な単糖であるグルコースおよびフルクトース含量を測定した。

3.3.2.1 グルコース含量

キムチのグルコース含量の経時変化を Fig. 5(a) に示した。発酵初期の無処理区のキムチでは、グルコースが乾物キムチ 100 g 当たり約 13 g 含まれており、保存によって増減して保存 28 日目以降は概ね 9 g の含量で推移した。一方、圧力処理区のキムチでは、保存 1 日目で減少したが、保存に伴いグルコースが増加する傾向が見られ、29 日目以降は初発のグルコース含量よりも多くなった。

発酵中期の無処理区のキムチでは、グルコースが乾物キムチ 100 g 当たり約 14 g 含まれており、保存 6 日目で減少したが、20 日目以降は増加し、概ね 7 g の含量で推移した。一方、圧力処理区のキムチでは、保存 1 日目で若干減少したが、保存に伴いグルコースが増加する傾向が見られ、20 日目以降は初発のグルコース含量よりも多くなった。

3.3.2.2 フルクトース含量

キムチのフルクトース含量の経時変化を Fig. 5(b) に示した。発酵初期の無処理区のキムチでは、フルクトースが乾物キムチ 100 g 当たり約 7 g 含まれており、保存 20 日目以降から含量が減少し、41 日目には未検出となった。一方、圧力処理区のキムチでは、保存 1 日目からフルクトース含量が増加する傾向が見られ、29 日目以降で減少し始めたが、保存中は未検出になることがなかった。

発酵中期の無処理区のキムチでは、フルクトースが乾物キムチ 100 g 当たり約 9 g 含まれており、保存 6 日目以降から含量が減少し、20 日目には未検出となった。一方、圧力処理区のキムチにおけるフルクトース含量の経時変化は、発酵初期と概ね同様

な傾向を示した。

圧力処理区のキムチでは酵母が不活化していることから、圧力処理区のキムチのグルコースならびにフルクトースの減少は、乳酸菌がそれらを代謝したものと考えられた。Yun ら[32] が報告したキムチや、円谷ら[33] が報告した赤カブ漬けでは、長期の発酵によってグルコースよりもフルクトースが先に未検出となった。本実験の圧力処理区でフルクトースが保存約 30 日目以降で急激に減少した理由は、*Lb. Plantarum*[34] などの、グルコースよりもフルクトースを代謝する乳酸菌の相対的な増加によるものと思われる。また、無処理区のキムチにおける保存初期のグルコースとフルクトースの減少は、主に酵母の代謝によるものと考えられた。一般に、酵母はフルクトースよりもグルコースを速く代謝するが、*Saccharomyces bailii* などはその逆を示すことが知られている[35]。そのような酵母がキムチに含まれているために、無処理区のキムチのフルクトースがグルコースよりも速く減少したものと考えられた。また、無処理区の発酵中期のキムチには発酵初期よりも酵母が多く含まれていることから、保存によってグルコースとフルクトース含量の減少が速かったと考えられた。

これらの結果から、300 MPa の圧力処理を施すことにより、これらの遊離糖の減少が抑えられ、保存中も甘味のあるキムチとなることが示唆された。

3.4 キムチの色調と硬さの経時変化

3.4.1 色調

キムチの白菜は発酵が進むと、白色部分が唐辛子の赤色を呈するようになり、外観の色調が変化する。そこで、無処理区の保存開始時のキムチを基準とし、色差 (ΔE) を測定した結果を Fig. 6 に示した。無処理区のキムチにおいて、発酵中期のキムチでは、発酵初期のキムチと比較し、保存に伴い ΔE の増加が顕著であった。目視では、 ΔE の増加に伴って浅漬にした白菜の白色部分が、漬け液の浸透により唐辛子の赤色を呈し、やや透明感のある色調になった。

一方、圧力処理区のキムチでは、 ΔE が保存 1 日目で増加し、それぞれの無処理区の長期保存を行なった際の ΔE と概ね同等になり、やや透明感のある色調になった。松本の報告[14] でも、白菜浅漬けやゆず大根漬けは、200 MPa で 10 分間の圧力処理により、やや透明感のある色調になると述べている。圧力処理により、白菜の内部組織が破壊され、通常では浸透速度が遅い漬け液が、速く浸透したためと考

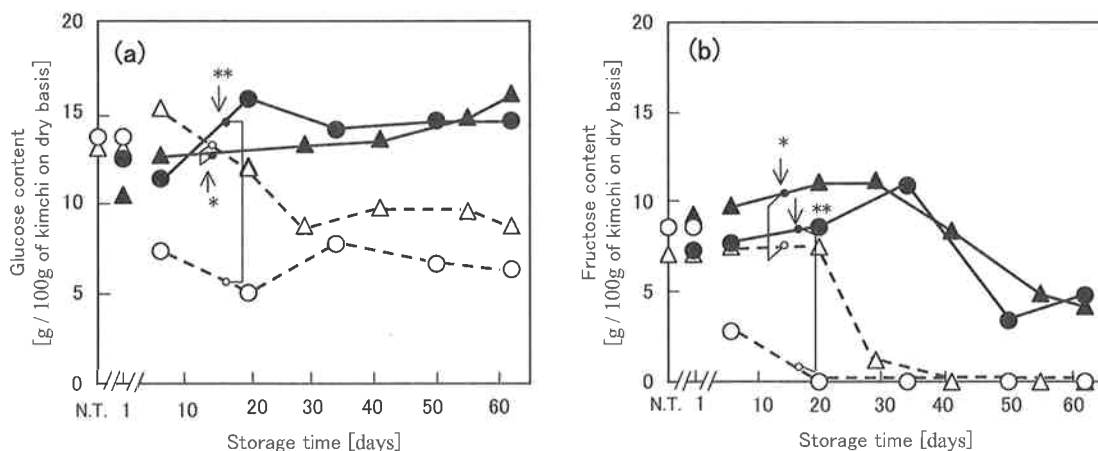


Fig. 5. Change in glucose and fructose contents of kimchi during storage at 10°C.

(a), Glucose content; (b), fructose content.

---△--- Non-treated group (initial)

---○--- Non-treated group (medium)

—▲— Pressure-treated group (initial)

—●— Pressure-treated group (medium)

Initial, extracted at the initial stage of fermentation; medium, extracted at the medium stage of fermentation.

*, The day when a significant difference in sweetness by the sensory test was found between non-treated and pressure-treated samples.

**, The day when a significant difference in sweetness by the sensory test was found between non-treated and pressure-treated samples.

N.T., No treatment.

えられた。

3.4.2 硬さ

キムチの白菜の葉柄部の破断応力を Fig. 7 に示し

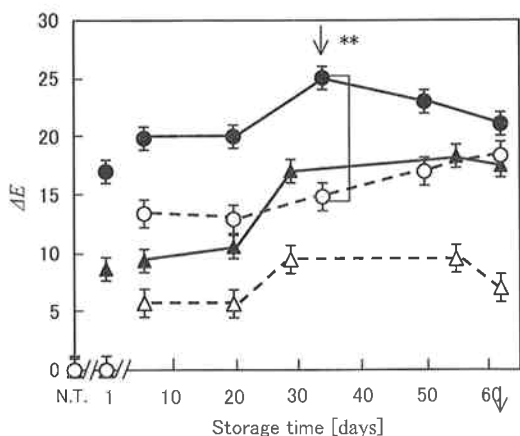


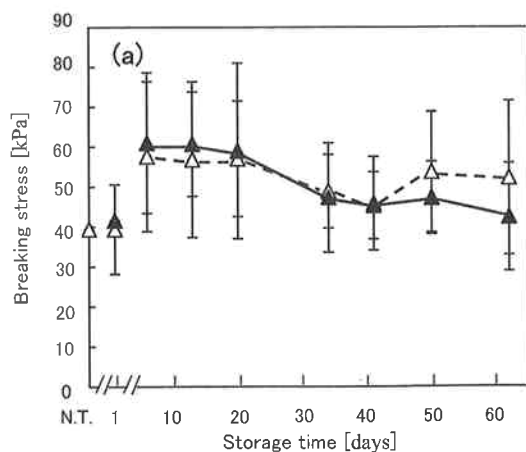
Fig. 6. Change in color difference of kimchi during storage at 10°C.

- △--- Non-treated group (initial)
- Non-treated group (medium)
- ▲— Pressure-treated group (initial)
- Pressure-treated group (medium)

Initial, extracted at the initial stage of fermentation; medium, extracted at the medium stage of fermentation.

**, The day when the appearance of the pressure-treated kimchi was evaluated inferior in the sensory test.

N.T., No treatment.



た。発酵初期と発酵中期、ならびに無処理区と圧力処理区に係わらず、破壊応力は約 50 kPa 程度であり、保存中も差異はなかった。

Shon ら[10] は、レオメーターを用いて切断応力を測定した結果、キムチに 400 MPa までの圧力処理を施しても有意な差は無かったと報告している。野沢菜漬[16] や、しょう油もろみ漬け、しば漬け、日野菜さくら漬け[14] など圧力処理を施しても、硬さに変化はないと報告されている。

これらの結果から、圧力処理によって、キムチの色調はやや透明感があるものの、硬さには影響を及ぼさず、保存によっても変化が少ないことが示唆された。

3.5 キムチの官能評価

Table 2 に、発酵初期のキムチについて、官能検査を行なった結果を示した。圧力処理区のキムチは、外観が無処理区のキムチよりも劣ると評価された。Fig. 6 に示した色差の結果から、 ΔE が約 5 程度では色の差異が知覚され、外観が劣るとの評価になるものと思われた。香りと食感は保存 6 日目では無処理区のほうが良いと評価されたが、その後は両区に差異がなかった。酸味は、無処理区のキムチが常に強く感じられ、保存 29 日目では無処理区のキムチの酸味が強すぎて喫食できない状態になったので、その後の官能評価を中止した。一方、圧力処理区の

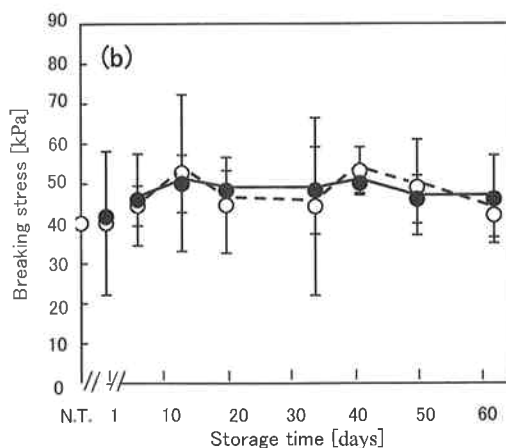


Fig. 7. Change in breaking stress of kimchi during storage at 10°C.

(a), Kimchi extracted at the initial stage of fermentation; (b), kimchi extracted at the medium stage of fermentation.

- △--- Non-treated group (initial)
- Non-treated group (medium)
- ▲— Pressure-treated group (initial)
- Pressure-treated group (medium)

Initial, extracted at the initial stage of fermentation; medium, extracted at the medium stage of fermentation.

N.T., No treatment.

キムチは保存 62 日目に喫食しても適度な酸味であった。Fig. 4(b)に矢印で示したように酸味が強く感じられた保存 29 日目の無処理区の pH は約 4 であり、その前後の測定日の pH も同等であることから、キムチの酸味を pH で数値化するのは困難であると思われる。甘味は圧力処理区のキムチの方が強く感じられ、Fig. 5 に矢印で示したように、特にフルクトース含量の差が甘味に影響を及ぼしていると思われる。旨味も圧力処理区のキムチの方が強く感じられ、発酵によって遊離のアミノ酸や核酸などの旨味成分の消長が影響していると思われる。総合評価については、圧力処理区の方が保存 6 日目以降で有意に良い

と評価され、外観よりも酸味や甘味、旨味が官能評価を高くする因子であると思われる。

Table 3 に、発酵中期のキムチについて、官能検査を行なった結果を示した。発酵中期のキムチは発酵初期のキムチに比べて、無処理区でも、白菜の葉柄部分に漬け液が浸透し、透明感を持つようになるため、圧力処理区のキムチの外観は保存 15 日目までは無処理区と概ね同等と評価された。Fig. 6 より、発酵中期のキムチにおいて、 ΔE が約 7 程度では差異として感じられず、保存 33 日目では圧力処理区のキムチの評価が低いことから、 ΔE が約 10 程度 (Fig. 6 に矢印で付記) になると色の差異が知覚さ

Table 2. Changes in sensory scores of kimchi at initial stage of fermentation during storage time at 10°C.

Evaluation	Pressure- treatment	Storage time [days]				
		6	13	20	29	62
Appearance	Non-treated group	3.8 *	3.7 *	3.7 *	—	—
	Pressure-treated group	2.5	3.1	2.3	—	—
Flavor	Non-treated group	3.3 *	3.2	3.2	—	—
	Pressure-treated group	2.7	2.9	3.2	—	—
Texture	Non-treated group	3.7 *	3.7	3.2	—	—
	Pressure-treated group	3.1	3.4	3.7	—	—
Sourness	Non-treated group	3.8 *	4.2 *	4.3 *	5.0 *	—
	Pressure-treated group	3.2	3.0	3.3	3.0	3.0
Sweetness	Non-treated group	2.7	2.3	2.5	—	—
	Pressure-treated group	3.0	3.3 *	3.2	—	—
Taste	Non-treated group	2.8	2.9	2.8	—	—
	Pressure-treated group	3.1	3.8 *	3.7 *	—	—
Overall	Non-treated group	3.1	2.8	2.8	1.0	—
	Pressure-treated group	2.7	3.3 *	3.7 *	3.0 *	3.0

*, Significance at $p < 0.05$.

Table 3. Changes in sensory scores of kimchi at medium stage of fermentation during storage time at 10°C.

Evaluation	Pressure- treatment	Storage time [days]				
		7	15	33	44	62
Appearance	Non-treated group	3.5	3.0	3.5 *	—	—
	Pressure-treated group	3.2	3.2	2.8	—	—
Flavor	Non-treated group	2.8	2.3	2.7	—	—
	Pressure-treated group	3.3 *	2.9 *	3.2	—	—
Texture	Non-treated group	3.2	2.9	3.2	—	—
	Pressure-treated group	3.6 *	3.6 *	3.7 *	—	—
Sourness	Non-treated group	3.7	4.0 *	4.0	5.0 *	—
	Pressure-treated group	3.6	3.0	3.7	3.0	3.0
Sweetness	Non-treated group	2.7	2.5	2.3	—	—
	Pressure-treated group	2.9	3.2 *	2.7	—	—
Taste	Non-treated group	3.0	2.6	3.0	—	—
	Pressure-treated group	3.3	2.8	4.0 *	—	—
Overall	Non-treated group	2.8	2.3	3.0	1.0	—
	Pressure-treated group	3.5 *	3.3 *	3.7 *	3.0 *	3.0

*, Significance at $p < 0.05$.

れるようになり、外観が劣ると評価されると思われた。香りは圧力処理区の方が良いと評価され、発酵によって香氣成分が増加したものと思われた。食感は圧力処理区の方が良いと評価され、無処理区は発酵によって組織が軟化したものと思われた。なお、本実験で行なったキムチの食感（硬さ）の測定では、この差異を数値で表すことができなかった。酸味は、無処理区のキムチの方が強く感じられ、保存 44 日目では無処理区のキムチの酸味が強すぎて喫食できない状態であり、その後の官能評価を中止した。しかし、圧力処理区のキムチは保存 62 日目に喫食しても適度な酸味であった。Fig. 4(b)に矢印で示したように、酸味が強く感じられた保存 44 日目の無処理区の pH は約 4 であり、喫食しても適度な酸味を持つ 62 日目の圧力処理区の pH が、3.6 であることから、発酵初期のキムチと同様に、キムチの酸味を pH で数値化するのは困難であると思われた。甘味と旨味は圧力処理区のキムチの方が強く感じられ、発酵初期のキムチと同様な理由によるものと思われた。総合評価については、圧力処理区の方が常に有意に良いと評価され、外観以外の因子が評点を高くしていると思われた。

Shon らの報告[10]によれば、400 MPa で処理したキムチは色調が大きく変化した。キムチの色調は、味、香り、食感よりはそれほど重要ではないと述べている。本実験においても、圧力処理区のキムチは、発酵初期のキムチの外観を除けば、甘味と旨味のあるキムチであると評価され、特に発酵中期に圧力処理を施したキムチは香り、食感も無処理区よりも評価が高かった。また、無処理区のキムチは、発酵初期の試料で保存 29 日以内、発酵中期の試料で保存 44 日以内が喫食できる酸味であったが、圧力処理区のキムチは何れも 62 日以上も酸味が抑制され喫食が可能であった。

4. 要約

発酵食品としてキムチを選択し、微生物の種類による圧力耐性の違いを利用して発酵過程を制御し、密封包装での流通過程におけるガス発生による包装袋の膨化を防止すると共に、品質を保ちながら賞味期限の延長の可能性について検討した。

1. 乳酸菌と酵母では圧力耐性が大きく異なり、20℃で 300 MPa の圧力処理を施した場合、乳酸菌は保持時間が 4 分程度までは耐圧性を示し、そ

れ以降で急激に減少するのに対して、酵母は 1 時間の圧力保持で生菌数が 4 桁減少した。

2. キムチに 20℃で 300 MPa の圧力処理を 5 分間施すことにより、発酵に必要な乳酸菌を生存させたままで、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であった。
3. キムチに圧力処理を施すことで乳酸の生成が抑えられ、長期にわたり酸味の増加を抑制することが可能であった。特に発酵初期に圧力処理を施したキムチは、pH の過度の低下を抑制することが可能であった。
4. 圧力処理によって、保存中におけるキムチ中のグルコースとフルクトースの遊離糖含量の減少を抑制することが可能であった。
5. 圧力処理後の保存 1 日目のキムチは、無処理のキムチを長期保存した時の色差と概ね同等で、やや透明感のある色調であった。
6. キムチ中の白菜の葉柄部の破断応力は、圧力処理の影響を受けず、保存による硬さに変化も少ないことが判明した。
7. キムチに圧力処理を施すことにより、10℃の保存による喫食可能な期間が延長した。また、圧力処理によって甘味と旨味が増加し、特に発酵中期に圧力処理を施したキムチは香り、食感ともに無処理キムチに比較して高い評価であった。

謝 辞

本研究は、平成 14・15 年度経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業「高圧処理を利用した新機能性食材の開発と産業化」より得られた研究成果の一部である。関東経済産業局ならびに(株)信濃川テクノポリス開発機構からのご支援をいただき、厚くお礼申し上げます。また、キムチの破断応力については新潟大学農学部グリルト博士に、成分分析については長岡技術科学大学の梅田実教授並びに程内和範技官に、微生物測定については新潟薬科大学の和泉徹博士並びに市川晴葉博士にご協力いただき心より深謝いたします。さらに、キムチの製造にご協力いただいた、(有)アリランハウスの皆様に、官能検査にご協力いただいた(株)シジシージャパンの皆様に、また、業務の遂行にご協力いただいた越後製菓(株)総合研究所の方々に謝意を表します。

参考文献

- [1] 宮尾茂雄: 日本食品保蔵科学会誌, **30**, 29 (2004).
- [2] 稲津康弘, 前田譲, 一色賢司, 川本伸一: 食品工業, **47**, 46 (2004).
- [3] 金子健太郎, 辻匡子: フードリサーチ, **118**, 2 (1996).
- [4] 宮尾茂雄: 食品と科学, **42**, 78 (2000).
- [5] J.W. Lee, D.S. Cha, H.J. Park, K.T. Hwang: *Int. J. Food Sci. Technol.*, **38**, 519 (2003).
- [6] 宮尾茂雄: 防菌防黴, **30**, 383 (2002).
- [7] 宮尾茂雄: 防菌防黴, **27**, 811 (1999).
- [8] H.P. Song, D.H. Kim, M.W. Kim, H.S. Yook, M.R. Kim, K.S. Kim: *Radiat. Phys. Chem.*, **69**, 85 (2004).
- [9] S.I. Hong, W.S. Park: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **63**, 1119 (1999).
- [10] K.H. Shon, H.J. Lee: *Int. J. Food Sci. Technol.*, **33**, 359 (1998).
- [11] 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).
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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, 2000), pp. 227-246.
- [18] 山崎彬, 杵淵美和子: *J. Appl. Glycosci.*, **50**, 89 (2003).
- [19] 伊藤武, 小久保彌太郎, 工藤泰雄: 食品衛生検査指針, 微生物編 (日本食品衛生協会, 東京, 1990), pp. 67-79.
- [20] 日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会: 新・食品分析法 (日本食品科学工学会, 東京, 1996), pp. 528-608.
- [21] 森下正博: 大阪食とみどり技セ研報, **39**, 1 (2003).
- [22] 桑原祐二, 大塚暢幸, 真部正敏: 日本食品工業学会誌, **35**, 776 (1988).
- [23] 早川潔, 上野義栄, 河村眞也, 宮野要一, 菊島直, 莊咲子, 林力丸: 日本農芸化学会誌, **69**, 1021 (1995).
- [24] 北村靖則, 安平仁美: 信州味噌研究所研究報告, **35**, 29 (1994).
- [25] H. Ogawa, K. Fukuhisa, Y. Kubo, H. Fukumoto: *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 1219 (1990).
- [26] Y. Pandya, F.F. Jewett JR., D.G. Hoover: *J. Food Prot.*, **58**, 301 (1995).
- [27] 田中龍夫, 畑中耕一: 日本食品工業学会誌, **39**, 173 (1992).
- [28] 鄭大聲: 調理科学, **27**, 302 (1994).
- [29] 崔善圭: 食の科学, **190**, 72 (1993).
- [30] 宮尾茂雄: *New Food Industry*, **31**, 33 (1989).
- [31] T.I. Mheen: 日本乳酸菌学会誌, **14**, 56 (2003).
- [32] J.W. Yun, S.C. Kang, S.K. Song: *J. Ferment. Bioeng.*, **81**, 279 (1996).
- [33] 円谷悦造, 渡辺篤, 正井博之: 日本食品工業学会誌, **29**, 202 (1982).
- [34] Z. Lu, H.P. Fleming, R.F. McFeeters: *J. Food. Sci.*, **66**, 162 (2001).
- [35] W. Emmerich, F. Radler: *J. Gen. Microbiol.*, **129**, 3311 (1983).

[2006年1月20日受理]