

## 초고압처리에 의한 동치미의 미생물, 효소 및 조직감의 변화

홍관표 · 박지용

연세대학교 생명공학과 및 생물산업소재연구센터

### Changes in Microorganisms, Enzymes and Texture of *Dongchimi* by High Hydrostatic Pressure Treatment

Kwanpyo Hong and Jiyong Park

Department of Biotechnology and Bioproducts Research Center, Yonsei University

#### Abstract

Effects of high hydrostatic pressure on microorganisms, pectin enzymes and texture of dongchimi (pickled radish roots) were investigated. *Dongchimi* was pressurized at 200~686 MPa for 5 min when its pH reached to 4.0. Total aerobes, initial concentration of  $4.05 \times 10^8$  CFU/mL, were completely inactivated by high hydrostatic pressure at 600 MPa. Lactic acid bacteria, yeasts and molds, initial concentration of  $3.25 \times 10^8$  CFU/mL and  $3.55 \times 10^4$  CFU/mL, respectively, were completely inactivated by high hydrostatic pressure at 400 MPa. *Leuconostoc mesenteroides* appeared to be the most barotolerant lactic acid bacteria because it was the sole bacteria survived at 380 MPa. Pectinesterase (PE) and polygalacturonase (PG) activities increased after high hydrostatic pressure treatment. Residual PE activity was 193 after pressurization at 500 MPa, and residual PG activity was 191 after pressurization at 686 MPa when the initial enzyme activity of control was set to 100. The hardness of pressurized dongchimi was higher than control.

Key words: *dongchimi* (pickled radish roots), high hydrostatic pressure, pectinesterase, polygalacturonase, microstructure

#### 서 론

김치류는 한국의 전통 발효 식품으로서 우리 식단에서 가장 중요한 부식으로 되어있다. 현재 배추김치, 무김치 등 김치류는 식생활 패턴의 변화 및 주거 양식의 변화로 시장에서 구입하는 경향이 차츰 높아지고 있으며, 김치 수출도 매년 증가하고, CODEX에서도 국제식품으로 인정함에 따라 김치의 질적 향상과 과학적 연구가 시급히 요망되고 있다. 김치의 미생물, 특히 젖산균에 의한 과도한 유기산 생성에 따른 pH의 감소, 펙틴분해효소의 작용에 의한 조직의 연화(softening), hetero-type 젖산균의 CO<sub>2</sub> 생성에 의한 용기팽창 등은 김치의 맛, 냄새, 조직감 등 관능적 품질저하를 유발한다<sup>(1)</sup>. 김치의 산패현상에 주로 관계하는 미생물은 *Lactobacillus plantarum*이며 극히 낮은 pH에서도 생존하여 lactic acid, acetic acid 등을 과다하게 생성하여 유기산 조성의 변화와 불쾌한 휘발성 물질을

을 생성한다<sup>(2)</sup>. 조직의 연화를 일으키는 펙틴분해효소는 pectinesterase (PE)와 polygalacturonase (PG)가 있으며, 원료 자체에 존재하거나 미생물에 의해 생성된다. 이중 PE는 펙틴의 탈에스테르화를 일으켜 다가 이온들이 존재할 때 야채류의 조직을 단단하게 해주며, PG는 펙틴의 α-1,4 결합을 가수분해하여 펙틴 분자의 크기를 감소시켜 조직의 연화를 촉진한다<sup>(3)</sup>. 따라서 식품의 품질저하의 원인이 되는 연화현상을 방지하기 위해서는 PE를 활성화하고 PG를 불활성화하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

최근 비열(非熱)가공처리 방법<sup>(4)</sup>으로 주목받고 있는 초고압은 미생물의 살균효과<sup>(5)</sup> 외에도 단백질의 변성, 효소의 활성화에도 관여<sup>(6,7)</sup>하며, gel 형성이나 추출<sup>(8)</sup>등에도 유용하다고 보고되고 있다. 지금까지의 연구에 따르면 압력은 미생물의 형태, 생화학적 반응, 세포막 및 세포벽에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. Walsby<sup>(9)</sup>는 0.6 MPa 정도의 압력으로 세포 내부에 존재하는 gas vacuole을 파괴 할 수 있음을 보였으며, Hereman 등<sup>(10)</sup>은 200 MPa의 압력에서 yeast에 존재하는

Corresponding author: Jiyong Park, Department of Biotechnology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

mitochondria가 파괴됨을 관찰하였다. 또한, 압력의 증가는 단백질구조를 이루고 있는 수소성 결합과 이온 결합의 파괴를 촉진하지만, 공유결합이나 수소 결합의 경우 압력의 증가가 이들 결합의 파괴를 촉진하지 않는데<sup>(11)</sup>, 초고압에 의해 효소의 활성이 증가하기도 하고 감소하기도 하는 것은 이러한 이유 때문이다.

이에 본 연구에서는 지금까지 보고된 바 없는 초고압처리가 동치미의 미생물, 효소, 조직감 등 품질 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

실험에 사용한 무(*Raphanus sativus* L.)는 태백종(太白種)으로서 1997년 강원도 정선산이며 부재료인 파(*Allium cepa*), 마늘(*Allium sativum*), 생강(*Zingiber officinale*)도 같이 구입하여 사용하였다. 소금은 염도 80% 이상인 천일염(Youngjin Green Food Co., Korea)을 사용하였다. 구입한 무는 흐르는 물에 세척하고 양 끝에서 3 cm씩 잘라낸 후 3 cm × 3 cm × 1 cm가 넘지 않는 범위에서 절단하였다. 부재료인 마늘, 생강은 다듬은 후 얇게 썰었고, 파는 길이 2 cm 정도로 썰어 실험에 사용하였다. 동치미는 3% 소금 용액에 무와 소금 물의 비율이 1:1(w/v)되게 플라스틱 용기에 담그고, 파, 마늘, 생강을 전체 무의 중량의 3.0, 1.0, 0.5%씩 각각 첨가하였으며 이를 30°C incubator에서 발효시켰다.

### 포장

동치미 포장에 사용한 포장재는 두께 0.01 mm, 수분 및 기체 차단성인 PET/PE 필름으로서 봉투(14 × 9.8 cm) 형태로 열 접합하여 사용하였다.

### 초고압처리

본 실험에서는 초고압기(MFP-7000, Mitsubishi Heavy Industries Co., Japan)를 이용하였으며, 초고압 용기(내부용적 600 mL)에 포장한 시료를 넣고 pressure medium으로서 증류수를 채운 후 hydraulic pump로 pressurizing piston을 상승시켜 가압하였다. 초고압처리는 상온(20°C)에서 200~686 MPa에서 5분씩 행하였다. 지정된 압력에 도달하는 데는 25~150초가 소요됐으며, 모두 10초 이내에 감압이 이루어졌다.

### pH 및 산도 측정

동치미 액을 시료로 사용하여 pH를 pH meter (410A, Orion Research Inc., U.S.A.)로 측정하였으며, 산도

(titrable acidity)는 A.O.A.C. 방법<sup>(12)</sup>에 의하여 10 mL 동치미 액을 pH 8.3으로 만드는데 소요된 0.1 N NaOH의 양을 젖산 함량으로 환산하였다.

### 생균수의 측정

생균수는 A.O.A.C. 방법<sup>(13)</sup>에 따라 측정하였다. 총세균수는 plate count agar에서 48시간, 젖산균은 MRS agar에서 72시간 배양하였으며, 효모 및 곰팡이는 10% tartaric acid로 pH 3.5로 보정한 potato dextrose agar에서 72시간 배양하였다. 균체수의 측정은 3회 반복 측정하였다.

### 젖산균의 분리

Lactobacilli MRS broth (Difco Co., U.S.A.)에 0.002 % bromophenol blue를 첨가한 배지에 생균수 측정 실험과 같게 희석한 시료를 0.1 mL 도말하여 30°C에서 72시간 배양하고 colony를 관찰하여 *Lactobacillus*와 *Leuconostoc*를 분리하였다. *Pediococcus*와 *Streptococcus*는 생균수 측정 실험과 같게 희석한 시료를 m-Enterococcus agar (Difco Co., U.S.A.)를 사용하여 시료를 0.1 mL 도말하여 37°C에서 96시간 배양하고 colony를 관찰하여 분리하였다.

### 젖산균의 동정

분리한 균주를 Lactobacilli MRS broth (Difco Co., U.S.A.)에서 72시간 동안 순수 배양하여 분리한 후 Gram staining을 실시한 다음 API system (API system, La Balme les Grottes, France)으로 동정하였다. *Lactobacillus*와 *Leuconostoc*은 api 50 CH 및 api 50 CHL로 49종의 탄수화물 발효 양상을 확인하였고, *Pediococcus*와 *Streptococcus*는 api 20 strep으로 20종의 발효 특성을 확인한 후 이 결과를 ATB identification computer system (bio Merieux, France)에 입력하여 동정하였다.

### 효소액의 제조

Lee<sup>(14)</sup>의 방법을 변형하여 제조하였다. 동치미의 효소 활성 변화를 측정하기 위하여 동치미와 1 M NaCl 용액을 1:1 (w/v)의 비율로 넣고 waring blender (37BLB4, Waring Products Division Dynamics Co., U.S.A.)에서 2분간 마쇄한 후 4°C에서 24시간 방치하였다. 이 용액을 4점의 거즈로 걸러 9,000 × g에서 원심분리한 후 상등액을 효소액으로 사용하였다.

### Polygalacturonase의 활성 측정

Polygalacturonase의 활성은 효소의 작용으로 유리

되는 환원당인 galacturonic acid의 함량을 dinitrosalicylic acid (DNS)에 의한 비색법으로 측정하였다. 0.45% polygalacturonic acid 용액(0.1 M NaCl 함유, 0.03 M acetate 완충액, pH 5.0) 0.48 mL에 효소액 0.02 mL를 넣고 30°C 항온 수조에서 교반하면서 2시간 동안 반응시켰다. 100°C 항온수조에서 3분간 끓여 효소를 불활성화 시키고, 0.1 N NaOH 0.5 mL를 넣어 알칼리 용액으로 만든 다음 DNS 용액 1 mL를 첨가하였다. 이를 다시 100°C에서 5분간 끓인 후 냉각시켜 증류수 5 mL를 혼합시킨 다음 2,500×g에서 5분간 원심분리하였다. Blank는 효소액 대신 불활성화시킨 효소액을 첨가하여 위와 같은 방법으로 측정하였다. 520 nm에서 흡광도를 측정하였으며, PG 1 unit는 2시간 동안 1 mg의 환원당을 생성하는 효소의 양으로 하였다.

#### Pectinesterase의 활성측정

Yoon 등<sup>(15)</sup>의 방법을 변형하여 측정하였다. 0.2 M NaCl이 함유된 0.45% 펙틴 용액 50 mL를 pH 7.0으로 조절한 다음 효소액 1 mL를 넣었다. 혼합용액을 정확하게 pH 7.0으로 다시 조절한 다음 이 순간부터 pH 7.0에서 10분 동안 생성되는 산을 0.02 N NaOH로 적정하였다. PE 1 unit는 1분 동안  $1 \times 10^7$  M의 카르복실기를 생성하는 효소의 양으로 하였다.

#### 동치미 무 조직의 미세구조 관찰

미세구조의 관찰에 사용한 무는 60°C에서 10시간 동안 건조시켜 수분을 제거한 후 scanning electron microscopy (JSM-5410L, Jeol Co., Japan)를 이용하여 20 kV에서 100배 확대하여 미세구조를 관찰하였다.

#### 동치미 무 조직감의 측정

동치미의 조직감은 texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro Systems, U.K.)를 사용하여 puncture test를 실시하였다. 조직감의 측정에 사용한 무는 직경 1.45 cm인 원기둥을 절단기(Universal ProMetal, Krups Co., Germany)를 이용하여 1 cm 길이로 절단한 후 시료로 사용하였다. 각 시료의 조직감은 중심부를 지름이 2 mm인 probe가 시료 두께의 75%까지 관통하면서 받는 최대 힘으로 표시하였으며, 각 처리구당 30개의 시료를 측정하여 평균치로 구하였다.

## 결과 및 고찰

#### 동치미 발효중 pH와 산도의 변화

제조한 동치미를 30°C incubator에서 발효시키며 시

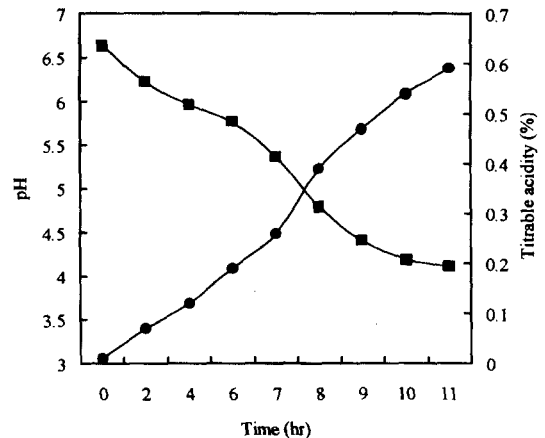


Fig. 1. Changes in pH and titrable acidity of dongchimi juice during fermentation at 30°C. ■—■: pH, ●—●: titrable acidity.

간에 따른 pH와 titrable acidity의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 발효 초기에는 pH가 서서히 감소하다가 발효 6시간 후부터 pH가 급격히 감소하여, 11시간 후에는 발효 적숙기라고 판단되는 pH 4.0에 도달하였다. Titrable acidity도 발효 초기에는 서서히 증가하다가 6시간 후부터 급격히 증가하였으며, 발효 11시간 후 0.59%에 도달하였다.

#### 초고압 처리에 의한 살균효과

초고압에 따른 생균수의 변화를 Table 1에 나타내었다. 무처리군에 존재하는 호기성 세균은  $4.05 \times 10^8$  CFU/mL이었다. 200 MPa에서는 생균수의 감소가 거의 일어나지 않았으며, 300 MPa에서는  $3.50 \times 10^4$  CFU/mL의 호기성 세균이 검출되어 4 log cycle 이상의 살균 효과를 나타내었다. 400 MPa과 500 MPa에서는 7 log cycle의 감소가 일어났다. Lee<sup>(16)</sup>가 kale 주스를 초고압 처리했을 때 600 MPa에서 5분간 처리한 시료에서  $2.35 \times 10^2$ 의 호기성세균이 검출되었고 2 log

Table 1. Changes in microbial count in pressurized and non-treated dongchimi juice

	Total aerobes	Lactic acid bacteria	Yeasts & mold
Control	$4.05 \times 10^8$	$3.25 \times 10^8$	$3.55 \times 10^4$
200 MPa, 5 min	$2.65 \times 10^8$	$2.50 \times 10^8$	$1.65 \times 10^4$
300 MPa, 5 min	$3.50 \times 10^4$	$7.50 \times 10^4$	$8.00 \times 10^2$
400 MPa, 5 min	$2.50 \times 10^1$	N.D.	N.D.
500 MPa, 5 min	$1.50 \times 10^1$	N.D.	N.D.
600 MPa, 5 min	N.D.	N.D.	N.D.
686 MPa, 5 min	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: not detected.

cycle이 살균되었으나, 동치미에서는 600 MPa 이상에서는 호기성 세균이 검출되지 않아 kale 주스에 비해 탁월한 살균효과를 나타냈다. 동치미의 발효에 직접적으로 관여하는 젖산균은 무처리군에  $3.25 \times 10^8$  CFU/mL이 존재하였으나 300 MPa 이상에서 급격한 감소가 일어났으며, 호기성 세균의 경우와 달리 400 MPa에서 처리한 시료에서는 검출되지 않았다. 효모 및 곰팡이는 초기 군수가 호기성 세균이나 젖산균보다 상대적으로 낮은  $3.55 \times 10^4$  CFU/mL이 존재하였다. 효모 및 곰팡이는 300 MPa에서 2 log cycle 감소되었으며 400 MPa에서 완전히 살균되었다. 따라서 동치미의 살균에는 300 MPa 이상의 압력이 요구되었으며, 400 MPa에서 처리한 시료에서 젖산균과 효모 및 곰팡이가 검출되지 않아, 적정 살균 압력은 400 MPa로 판단되었다.

#### 초고압 처리에 의한 젖산균의 생균수 변화

압력이 젖산균의 살균에 미치는 영향이 가장 크다고 판단되는 범위인 300~400 MPa에서 동치미를 5분간 초고압 처리하여 젖산균의 생균수를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 300 MPa에서는  $8.50 \times 10^4$  CFU/mL의 젖산균이 검출되었으며, 360 MPa까지는 2 log cycle 미만의 적은 감소 효과를 나타내었다. 그러나, 380 MPa에서는  $2.00 \times 10^1$  CFU/mL의 적은 균이 검출되었고 400 MPa에서 완전 살균되었다. 따라서, 젖산균은 360 MPa 이상의 압력에서 급격히 감소하는 것으로 판단되었다.

#### 젖산균의 분리 및 동정

300~400 MPa에서 5분간 처리한 동치미 시료에서 분리한 균주의 동정을 실시하여 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 김치 발효에 관계하는 젖산균은 *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus* 등이 보고<sup>(17)</sup>되고 있으며 발효 초기부터 중기까지 김치의 젖산을 생성하는 주된 균은 *Leuconostoc mesenteroides*이며, 발효 전반에 걸쳐 존재하며 김치의 산패를 일으키는 균은 *Lactobacillus plantarum*이라고 보고<sup>(18)</sup>

**Table 2. Changes in lactic acid bacteria of dongchimi juice treated with high hydrostatic pressure**

Pressure	Viable cells (CFU/mL)
300 MPa	$8.50 \times 10^4$
320 MPa	$3.40 \times 10^4$
340 MPa	$2.50 \times 10^4$
360 MPa	$1.30 \times 10^3$
380 MPa	$2.00 \times 10^1$
400 MPa	N.D.

N.D.: not detected.

**Table 3. Presence of lactic acid bacteria in dongchimi juice after various high hydrostatic pressure treatments (300~400 MPa for 5 min)**

Bacteria	Pressure (MPa)						
	300	320	340	360	380	400	
<i>Lactobacillus delbrueckii delbrueckii</i>	+	-	-	-	-	-	
<i>Lactobacillus delbrueckii bulgaricus</i>	+	+	-	-	-	-	
<i>Lactobacillus fermentum</i>	+	+	+	-	-	-	
<i>Lactobacillus delbrueckii lactis</i>	+	+	+	+	-	-	
<i>Pediococcus damnosus</i>	+	+	+	+	-	-	
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	+	+	+	+	+	-	

+: appeared; -: not appeared.

되어 있다. 내압성 균주의 탐색을 위하여 300, 320, 340, 360, 380 MPa에서 각각 5분간 처리한 시료에서 균주를 분리하여 동정하였다. 동정결과 300 MPa에서는 *Lactobacillus* 4종, *Leuconostoc* 1종, *Pediococcus* 1종이 발견되어 총 6종의 균주가 발견되었고 320 MPa에서 5종, 340 MPa에서 4종, 360 MPa에서 3종이 발견되었으며, 380 MPa에서 처리한 시료에서는 *Leuconostoc mesenteroides*만이 발견되어 *Leuconostoc mesenteroides*가 가장 내압성이 큰 미생물이라고 추정되었다. 하지만 *Lactobacillus plantarum*은 300 MPa에서 처리한 시료군에서도 발견되지 않아 상대적으로 압력에 약한 미생물로 판단되었다.

#### 초고압 처리가 효소의 활성에 미치는 영향

초고압에 의한 효소(pectinesterase, polygalacturonase)의 활성 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 효소의 활성은 초고압에 의해 증가<sup>(19)</sup>하기도 하고 감소<sup>(20)</sup>하기도 하는데 동치미에 있는 pectinesterase (PE)와 polygalacturonase (PG)의 활성은 모두 증가되었다. 조직의 hardness 증가에 기여하는 PE는 무처리군의 효소 활성을 100으로 했을 때 300 MPa에서 120미만으로 약간 증가했으며, 400 MPa에서 153으로, 500 MPa에서는 193으로 최대 활성을 나타내었다. 하지만 600 MPa 이상에서는 PE의 활성은 오히려 감소하여 686 MPa에서는 400 MPa에서 처리한 시료의 활성과 비슷한 수준을 나타내었다. 조직의 연화를 유발하는 효소인 PG는 PE와 달리 200 MPa부터 활성이 150이상으로 급격히 증가했으며, 압력이 증가할수록 활성은 계속적으로 증가하여 600 MPa에서 최고 활성인 191을 나타냈다. 686 MPa에서는 더 이상의 활성 증가는 없었다.

초고압 처리가 동치미 무 조직의 hardness에 미치는 영향

초고압 처리한 직후 조직의 hardness의 변화를 Fig.

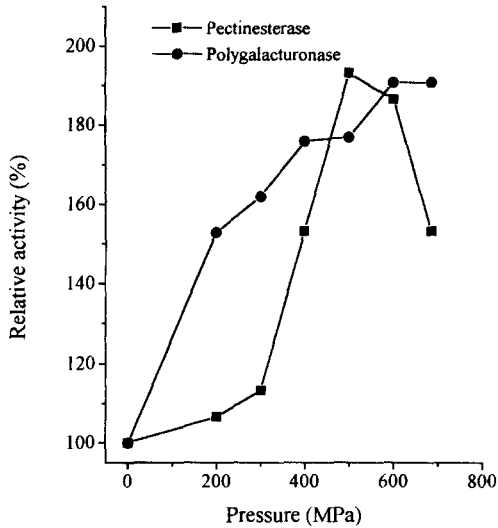


Fig. 2. Changes in enzyme activity in *dongchimi* after high hydrostatic pressure treatment.

3에 나타내었다. 무처리 시료군의 hardness는 0.944 kg이었다. Hardness는 높은 압력에서 더 큰 값을 나타냈으며, 400 MPa에서 처리한 시료의 hardness는 1.009 kg으로 무처리군에 비해 0.065 kg이 증가하여 많은 차이를 나타내었다(p<0.05). 그러나 400 MPa 이상의 압력에서는 증가가 관찰되지 않았고 686 MPa에서 처리한 시료의 hardness는 1.019 kg이었다. 400 MPa 이상에서 hardness 값이 크게 변하지 않은 것은 야채가공 전처리로서 압력을 이용한 Kasai 등<sup>(21)</sup>의 보고와 일치하였다.

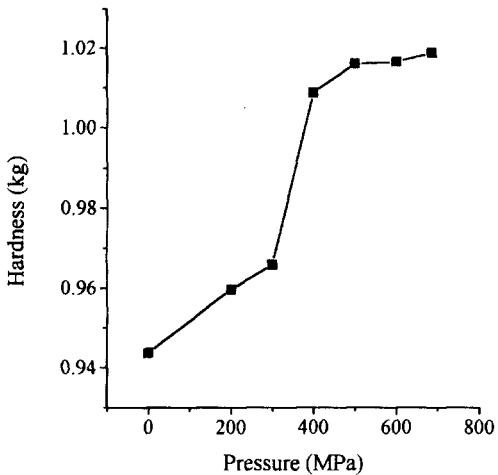


Fig. 3. Changes in hardness of *dongchimi* after high hydrostatic pressure treatment.

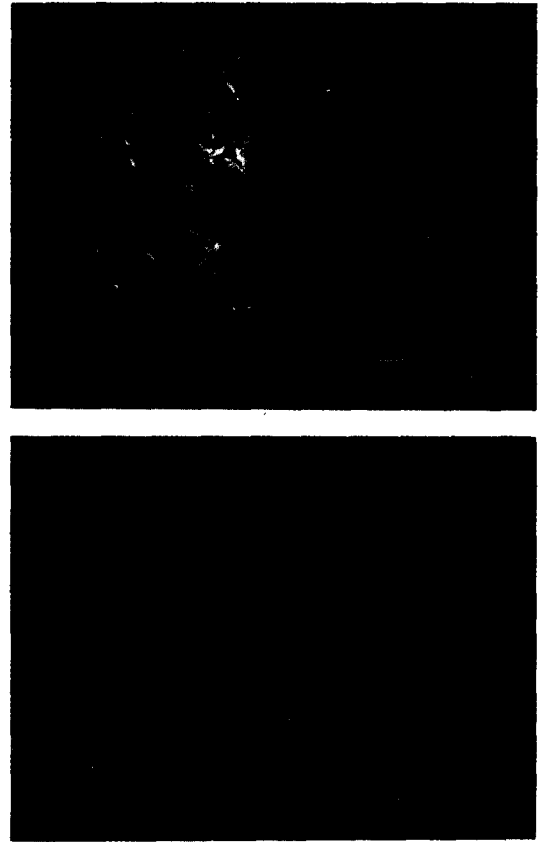


Fig. 4. Scanning electron microscopic photographs of tissues of *dongchimi*. Top: non-treated *dongchimi*, bottom: pressurized *dongchimi* at 400 MPa for 5 min.

초고압 처리가 동치미 무 조직의 미세구조에 미치는 영향

동치미를 초고압 처리한 후 세포벽 구조의 변화를 주사전자현미경으로 관찰하였다. Fig. 4에 나타난 현상과 같이 초고압 처리하지 않은 무는 윤곽이 비교적 뚜렷한 다각형 모양의 세포들이 세포벽에 결합되어 무의 조직을 구성하고 있으며, 다각형의 최대 대각선의 길이는 100~250 μm이었다. 그러나, 초고압 처리한 무의 경우에는 세포벽에 결합하고 있는 세포의 형상이 처리하지 않은 무와 비교할 때 좀 더 조밀하였다. 초고압 처리한 무의 hardness가 증가한 것은 이러한 물리적 변화에 기인한 것으로도 판단된다.

요 약

비열처리공법 중 하나로 새롭게 주목받고 있는 초고압 처리를 동치미에 적용하여 미생물의 살균정도,

효소 활성과 hardness의 변화를 관찰하였다. 제조한 동치미를 30°C 배양기에서 발효 적속기라고 판단되는 pH 4.0까지 발효시킨 후, 이를 시료로 사용하여 200~686 MPa 범위의 압력에서 5분간 처리하였다. 무처리군의 균체수는 호기성 세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이가 각각  $4.05 \times 10^8$ ,  $3.25 \times 10^8$ ,  $3.55 \times 10^4$  CFU/mL 존재하였으나, 호기성 세균은 600 MPa, 젖산균과 효모 및 곰팡이는 400 MPa 이상에서 완전히 살균되었다. 젖산균의 압력에 따른 내압성을 관찰해 본 결과 380 MPa에서 *Leuconostoc mesenteroides*가 유일하게 검출되어 가장 강한 내압성을 나타내었으며, 김치의 주 산균으로 알려진 *Lactobacillus plantarum*은 300 MPa로 처리한 시료에서도 발견되지 않아 압력에 약한 균주로 판단되었다. 조직감에 관계하는 효소인 pectinesterase (PE)와 polygalacturonase (PG)는 압력에 의해 모두 활성이 증가하였다. 초고압 처리를 하지 않은 시료의 효소 활성을 100으로 했을 때, PE는 500 MPa에서 193으로 가장 활성이 높았으며, PG는 압력이 증가함에 따라 활성이 서서히 증가하여 686 MPa에서 191이었다. 동치미에 있는 무의 조직감은 초고압 처리했을 때 hardness가 증가하여 400 MPa에서 5분간 처리한 시료는 무처리군에 비해 약 0.065 kg이 높았다.

### 감사의 글

본 연구는 보건복지부에서 시행한 1997년도 보건의료기술연구개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

### 문헌

- Ku, K.H., Kang, K.K. and Kim, W.J.: Some quality changes during storage of kimchi (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **20**, 476-482 (1988)
- Hawer, W.D., Ha, J.H., Seog, H.M., Nam, Y.J. and Shin, D.W.: Changes in the taste and flavor compounds of kimchi during storage (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **20**, 511-517 (1988)
- Yook, C., Chang, K., Park, K.W. and Ahn, S.Y.: Preheating treatment for prevention of tissue softening of radish root kimchi (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **17**, 447-453 (1985)
- Martens, B. and Knorr, D.: Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.*, **46**(5), 124-133 (1992)
- Hoover, D.G., Metrick, C., Papneau, A.M., Farkas, D.F. and Knorr, D.: Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technol.*, **43**(3), 99-107 (1989)
- Heremans, K.: High pressure effects on proteins and other biomolecules. *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, **11**, 1-21 (1982)
- Morild, E.: The Theory of pressure effects on enzymes. *Adv. Protein Chem.*, **34**, 93-133 (1981)
- Cheftel, J.C.: Application des hautes pressions en technologie alimentaire. *Actualite des Industries Alimentaires et Agro-Alimentaires*, **108**(3), 141-154 (1991)
- Walsby, A.E.: Gas filled structures providing buoyancy in photosynthetic organisms. In *The Effects of Pressure on Living Organisms*. Academic Press, New York, p. 233-287 (1972)
- Heremans, K.: High pressure effects on proteins and other biomolecules. *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, **11**, 1-21 (1982)
- Marquis, R.E.: High pressure microbial physiology. *Adv. Microbiol. Physiol.*, **11**, 159-241 (1976)
- A.O.A.C.: *Official Method of Analysis*, 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C., p.366 (1980)
- A.O.A.C.: *Official Method of Analysis*, 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C., p.824 (1980)
- Lee, K.J.: Effects of preheating treatment and chitosan addition on the textural properties of korean radish during fermentation (in Korean). *The Research Report of Miwon Research Institute of Korean Food and Dietary Culture*, **6**, 505-569 (1995)
- Yoon, S., Lee, H.O. and Kim, K.H.: Studies on the enzyme system in kimchi (in Korean). *The Research Report of Miwon Research Institute of Korean Food and Dietary Culture*, **2**, 357-369 (1989)
- Lee, D.U.: Effect of high hydrostatic pressure on product quality of kale and *Angelica keiskei* juice. *M.S. Thesis*, Yonsei Univ., Seoul, Korea (1996)
- Han, H.U., Lim, C.R. and Park, H.K.: Determination of microbial community as an indicator of kimchi fermentation (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **22**, 26-32 (1990)
- Lee, C.W., Ko, C.Y. and Ha, D.M.: Microfloral changes of lactic acid bacteria during kimchi fermentation and identification of the isolate (in Korean). *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **20**, 102-107 (1992)
- Weemaes, A., Rubens, P., DeCordt, S., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., Hendrickx, M., Heremans, K. and Tobback, P.: Temperature sensitivity and pressure resistance of mushroom polyphenoloxidase. *J. Food Sci.*, **62**, 261-265 (1997)
- Cano, M.P., Hernandez, A. and De Ancos, B.: High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange product. *J. Food Sci.*, **62**, 85-88 (1997)
- Kasai, M., Hatae, K., Shimada A. and Iibuchi S.: Pressure pretreatment of vegetables for controlling the hardness before cooking (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **42**, 594-601 (1995)