

동결 및 해동 방법이 동치미의 품질에 미치는 영향

이도현 · 박석준 · 박지용
연세대학교 생명공학과 및 생물산업소재연구소

Effects of Freezing and Thawing Methods on the Quality of *Dongchimi*

Do Hyun Lee, Seok Jun Park, Jiyong Park
Department of Biotechnology and Bioproducts Research Center, Yonsei University

Abstract

Dongchimi (Korean-style fermented radish with juice) products were frozen to prevent further acidification and softening of texture by restraining microbial growth and enzyme activity during storage. *Dongchimi* juice and radish were separated prior to freezing process. *Dongchimi* radish was frozen at -20°C , -70°C and immersed in liquid nitrogen and *dongchimi* juice was frozen at -20°C and -70°C . Frozen *dongchimi* samples were thawed with ambient temperatures of 4°C and 27°C and with 915 MHz-microwave, respectively. *Dongchimi* radish immersed in liquid nitrogen and thawed with 915 MHz-microwave showed the highest pectinesterase activity and hardness, and the lowest polygalacturonase activity and color change, indicating that this quick freezing-quick thawing method can be used for the long-term storage of *dongchimi* products. *Dongchimi* juice frozen at -70°C and thawed with 915 MHz-microwave retained its pH and titrable acidity, and showed a largest reduction in total aerobic count and lactic acid bacteria.

Key words : *dongchimi*, freezing, thawing, 915 MHz microwave

서 론

최근 현대인의 식생활 패턴의 변화로 김치를 사먹는 인구가 증가하고 있으며 일본, 미국, 동남아 등으로 김치를 수출하는 규모도 커지고 있는 추세이다. 특히 우리 나라의 전통 발효식품인 김치류중 무를 주원료로 하는 동치미는 독특한 조직과 매운맛이 없는 상쾌한 신맛이 나는 국물로 다른 김치류와는 달리 그 독특함이 인정되어 왔다⁽¹⁾. 그러나 동치미는 현재 사용되는 저장 방법으로는 장기 저장에 한계가 있으므로 김치 산업 발전과 더불어 대규모 생산을 위한 제조, 저장, 유통에 대한 체계적인 연구가 요구되고 있는 실정이다.

동치미의 저장 기간을 연장하기 위해서는 과숙 현상을 억제하여야 하는데, 동치미의 과숙 현상의 주원인은 유기산 생성에 따른 pH의 저하, 유기산 조성의 변화 및 불쾌한 휘발성 물질의 생성, 펙틴분해효소 작용에 의한 조직의 연화 등이며, 이에 따른 김치의 맛, 냄새, 조직감 등 관능적 품질의 저하가 장기 저장

시 문제점이라 할 수 있다⁽²⁾. 김치의 산패현상에 주로 관여하는 미생물은 *Lactobacillus plantarum*이며 매우 낮은 pH에서도 생존하여 lactic acid, acetic acid 등을 과다하게 생성한다⁽³⁾. 산패현상과 함께 동치미의 장기 저장 시 조직의 연화가 문제되는데 조직의 연화에 관여하는 효소로는 pectinesterase(PE)와 polygalacturonase(PG)가 있다. PE는 galacturonic acid의 C₆ 위치에 존재하는 methoxyl기를 떼어 내어 유리 카르복실기를 만들고, 이들 유리 카르복실기를 가진 pectin 사슬에 Ca²⁺ 이온 등 2가 양이온이 작용하면 cross-linkage가 형성되어 조직의 연화가 방지되며, PG는 polygalacturonic acid의 α -1,4 glycoside 결합을 가수분해하여 조직의 연화를 유발한다. 따라서 PE를 활성화시키고 PG를 불활성화시키면 김치의 장기 저장 시 문제가 되는 조직의 연화를 방지할 수 있다⁽⁴⁾. 현재까지 저장성 향상을 위한 연구로는 냉장 저장⁽⁵⁾, 방사선 처리⁽⁶⁾, 열처리⁽⁷⁾, 염 혼합물의 첨가⁽⁸⁾, 초고압 처리⁽⁹⁾ 등이 보고되고 있으나 효과가 미미하고 실용적인 단계에는 이르지 못하였다.

김치를 동결하면 김치내의 수분이 동결되어 미생물의 활동과 효소의 작용이 정지되므로 발효가 더 이상 진행되지 않아 산패 및 김치 조직의 연화를 방지할 수

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

있다⁽⁶⁾. 따라서 동결 동치미는 장기 저장 방법으로는 바람직하지만, 동결 및 해동 시 품질의 변화가 발생하므로 문제가 된다. 이러한 품질변화의 주원인은 동결 시 대형 빙결정 형성과 해동시 긴 해동 시간에 따른 미생물의 번식, 효소의 작용 등이므로 급속 동결 및 급속 해동이 필요하다.

급속 동결이란, 비포장 또는 얇게 포장된 식품을 상(phase)의 변화를 동반하는 -60°C 이하의 냉매에 접촉시켜 냉동하는 초급속 냉동 방법이다. 동결매체로 액체질소가스와 액화탄산가스를 사용하는데 액체질소의 경우는 액체질소속에 식품을 넣어(immersion) 동결하는 방법과 식품에 액체질소를 분무(spray)하는 방법이 있다. 액체질소를 사용할 경우 동결시간이 단축되어 연속 공정이 가능하고, 증발온도가 낮으므로 초급속 동결이 가능하여 미세한 얼음 결정이 생성되므로 품질의 변화를 최소화할 수 있으며, 화학적으로 불활성인 질소가스에서 동결되므로 산화에 의한 품질변화를 방지하고, 동결 시 건조되는 것을 방지할 수 있다⁽¹⁰⁾.

현재 냉동 식품을 해동하는 방법에는 공기 해동, 수 해동, 증기 해동, 접촉 해동, 전기 해동 등이 있다⁽¹¹⁾. 재래적인 해동 방법인 공기 해동, 수 해동, 증기 해동은 외부 가열방식으로 인한 긴 해동 시간, 미생물의 성장, 드립 형성에 따른 무게 손실, 조직의 연화 등과 같은 문제점이 있다⁽¹²⁾. 따라서 급속 해동의 필요성이 강조되고 있는데, 전기 해동 중 microwave에 의한 해동은 내부 가열방식으로 가장 단시간에 해동이 완료되고, 미생물의 번식을 억제하며, drip의 손실을 줄일 수 있고, 변색, 이미, 이취가 적은 장점이 있다. Microwave의 주파수가 높을수록 발생열량은 높아지나⁽¹³⁾ 상용주파수는 2,450과 915 MHz로 제한되어 있으며 주파수가 높을수록 침투깊이의 제한으로 표면은 다 녹아도 중심부는 얼음 결정 상태로 남아있는 단점이 있다⁽¹²⁾. 이런 문제들을 해결하기 위해 표면 냉각 시스템을 사용하여 불균일한 가열을 방지하는 방법⁽¹⁴⁾, 2,450 MHz microwave 해동에 의한 표면의 과열을 방지하고자 on-off system을 이용하는 방법⁽¹⁵⁾, 저주파수 microwave를 이용한 해동⁽¹⁶⁾ 등이 연구되고 있다.

식품의 급속 동결에 대한 연구는 현재까지 많이 발전하여 왔지만⁽¹⁷⁻¹⁹⁾, 급속 해동에 관한 연구는 미미한 편이며 동치미에 대한 급속 동결과 급속 해동을 병행한 연구는 없는 실정이다. 본 연구에서는 동치미의 저장 중 산패 및 조직의 연화를 방지하기 위하여 동결 저장 공정을 적용하였고 동결 및 해동 시 품질의 변화를 최소화하기 위해서 액체 질소를 이용한 급속 동결 및 915 MHz microwave oven을 이용한 급속 해동

을 실시하여 동치미의 품질 지표인 pH, 미생물, 효소, 조직감, 색도 등에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 무는 1998년 강원도 정선산이며 부재료인 파, 마늘, 생강과 같이 백화점에서 구입하였다. 소금은 천일염이고 염도가 88% 이상인 것을 사용하였다.

동치미 제조

무를 깨끗이 세척한 후 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}\times 6\text{ cm}$, $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}\times 6\text{ cm}$, $6\text{ cm}\times 6\text{ cm}\times 6\text{ cm}$ 로 각각 절단하여 1% 소금용액에 담근 후 30°C 에서 발효시켰다. 무와 소금물의 비율은 1:1.5(w/v)로 하였으며 파, 마늘, 생강은 전체 무 중량의 3.0%, 1.0%, 0.5% 씩 첨가하였다.

동결방법

동치미 액의 pH가 3.8이 되었을 때 동결하였다. 동치미 무와 액을 분리하여 각각 동결시켰는데, 무는 수분 및 기체 차단성인 PET/PE 필름에 포장하여 동결시켰고, 동치미 액은 $5\text{ cm}\times 10\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 형태가 되게 플라스틱 통에 넣어 동결시켰다. 동치미 무와 액을 함께 동결한 경우는 전체 크기가 $5\text{ cm}\times 10\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 형태가 되게 플라스틱 통에 넣어 동결시켰다. 동치미 무는 -20°C , -70°C , 액체질소를 이용해서 동결한 후, -20°C 에서 동결된 무는 -20°C freezer에, -70°C 와 액체질소로 동결된 무는 -70°C deep freezer에서 각각 2주간 저장하였다. 동치미 액은 -20°C , -70°C 에서 동결한 후 -20°C 에서 동결된 액은 -20°C freezer에, -70°C 에서 동결된 액은 -70°C deep freezer에서 각각 2주간 저장하였다.

해동방법

동치미 무는 중심부의 온도가 4°C 에 도달하였을 때 해동을 완료시켰고, 동치미 액은 해동된 양이 전체 부피의 50%에 도달하였을 때 해동을 완료시켰다. 냉장 해동은 4°C 냉장고에서, 상온 해동은 27°C 로 고정된 incubator에서, 전기 해동은 915 MHz microwave oven을 이용하였다. 온도 측정은 sample의 기하학적 중심부에 thermocouple을 삽입한 후 측정하였다.

pH 및 산도 측정

동치미 액을 3점의 거즈로 여과한 후 pH는 pH meter (Orion 410A, Orion Research Inc., U.S.A.)로

측정하였으며, 산도(titrable acidity)는 AOAC.⁽²⁰⁾방법에 의하여 동치미 액 10 mL을 pH 8.3이 될 때까지 소비된 0.1 N NaOH의 양을 lactic acid로 환산하고 함량% 농도를 표시하였다.

총세균수 및 젖산균수 측정

총세균수(total aerobes)는 plate count agar 배지에 접종하여 30°C에서 48시간 배양하였고, 젖산균은 MRS 배지에 접종하여 37°C에서 60시간 배양하였다. 균체수의 측정은 3회 반복 측정하였다⁽²¹⁾.

색도 측정

색도는 헌터체계(Hunter system)에 따르는 색차계(Chromameter CR200, Minolta Co., Japan)를 사용하였다. 동치미액은 3회 반복, 무 표면은 10회 반복하여 L, a, b-value를 측정하였다. Total color difference⁽²²⁾값은 $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ 로 계산하였다.

효소액의 제조

동치미 무의 효소 활성 변화를 측정하기 위하여 동치미 무와 1 M NaCl 용액을 1:1(w/v)의 비율로 넣고 waring blender(37BLB4, Waring Products Division Dynamics Co., U.S.A.)에서 1분간 마쇄한 후 4°C에서 24시간 방치하였다. 이 용액을 3점의 거즈로 걸러 9,000 × g에서 20분간 원심분리한 후 상등액을 효소액으로 사용하였다.

Pectinesterase (PE)의 활성 측정

Park 등⁽²³⁾의 방법을 변형시켜 측정하였다. 0.1 M NaCl를 함유한 0.45% 펙틴 용액 50 mL를 pH 7.0으로 조절한 후 효소액 2 mL를 첨가하였다. 정확하게 pH 7.0으로 다시 조절한 다음 이 순간부터 pH 7.0에서 10분 동안 생성되는 산을 0.002 N NaOH로 적정하였다. PE 1 unit는 pH 7.0에서 1분 동안 1×10^{-6} M의 카르복실기를 생성하는 효소의 양으로 하였다.

Polygalacturonase (PG)의 활성 측정

Yook 등⁽⁴⁾의 방법을 변형시켜 측정하였다. 0.45% polygalacturonic acid 용액(0.1 M NaCl을 함유한 0.03 M acetate buffer, pH 5.0) 2.5 mL에 효소액 0.5 mL를 첨가하고 30°C 항온 수조에서 교반하면서 2시간 동안 반응시켰다. 100°C 항온 수조에서 3분간 끓여 효소를 불활성화시킨 다음 0.1 N NaOH 1 mL를 넣어 알칼리 용액으로 만든 후 dinitrosalicylic acid 용액 1 mL를 첨가하여 다시 100°C 항온 수조에서 5분간 끓였다. 곧

흐르는 물에 냉각시키고 증류수 10 mL를 넣어 충분히 혼합시킨 후 2,500 × g에서 5분간 원심분리 하였다. 520 nm에서 흡광도를 측정하여 α-D-galacturonic acid로 만든 표준곡선에서 환원당의 양을 구했다. PG 1 unit는 2시간 동안 1 mg의 환원당을 생성하는 효소의 양으로 하였다.

동치미 무 조직감 측정

동치미 무를 2 cm × 2 cm × 2 cm로 자른 후 texture analyzer(TA-WT2, Stable Micro System, U.K.)로 조직감을 측정하였다. Puncture test에 의하여였으며 중심부를 지름 2 mm인 probe가 시료 두께의 75%까지 관통하면서 받는 최대 힘으로 표시하였다. 각 처리구당 30개의 시료를 측정하여 평균치를 경도로 나타내었다.

결과 및 고찰

동치미 액과 무를 각각 동결 후 품질 변화

동결 시 동치미의 품질 변화를 최소화하기 위한 sample 상태를 결정하기 위해서 -70°C deep freezer에서 동치미 액과 무를 함께 동결한 것과 동치미 액(5 cm × 10 cm × 15 cm)과 무(2 cm × 2 cm × 6 cm)를 각각 동결한 것의 특성을 비교하였다(Table 1). 동치미 액과 동치미 무를 함께 동결한 것은 무(2 cm × 2 cm × 6 cm)를 동치미 액에 넣고 전체 size를 5 cm × 10 cm × 15 cm가 되게 동결하였다. 해동은 급속 해동이 가능한 915 MHz microwave oven을 이용하였다. 해동 후 무의 품질에 가장 중요한 인자인 relative hardness는 무를 각각 동결한 경우 91.8%이었고, 액과 함께 동결한 무의 경우 79.6%을 나타내어 무를 각각 동결한 후 해동하였을 때 조직의 손상이 적은 것을 알 수 있었다. 액과 함께 동결한 무는 동결 시 수분 손실에 의한 수축에 따른 조직 손상으로 hardness가 감소한 것으로 판단되었다. 색도는 각각 동결한 것이 함께 동결한 것보다 높은 L값을 나타냈으며 a, b값은 조금 낮게 나타났지만 별다른 차이는 보이지 않았다. 무를 각각 동결한 것은 함께 동결한 것보다 전체적인 색의 변화를 나타내는 total color difference(ΔE)값이 낮게 나타남으로 동결전의 무의 색도와 비교해 품질의 변화가 적었음을 알 수 있었다. 동치미 액의 경우, 함께 동결한 것은 pH 3.80에서 3.87로 증가하였고 산도는 0.20%에서 0.18%로 감소했으며, 각각 동결한 것은 pH 3.78로 감소하였고, 산도는 0.21%로 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 색도는 두 처리구 모두 L값이 감소하였고 a, b값은 증가하였으나, 함께

Table 1. Effects of respective freezing methods on the quality of *dongchimi* radish and *dongchimi* juice

| Sample | Measurement | Non-frozen | Method 1 ¹⁾ | Method 2 ²⁾ |
|-------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|------------------------|
| <i>Dongchimi</i> radish | Relative hardness (%) | 100 | 91.84 ± 6.97 ³⁾ | 79.58 ± 7.67 |
| | L-value | 62.07 ± 2.15 | 48.99 ± 3.13 | 43.82 ± 2.85 |
| | a-value | -1.88 ± 0.79 | -0.76 ± 0.63 | 0.30 ± 0.21 |
| | b-value | 4.62 ± 0.98 | 2.81 ± 0.76 | 3.44 ± 1.13 |
| | ΔE ⁴⁾ | 0 | 13.25 | 18.41 |
| <i>Dongchimi</i> juic | pH | 3.80 ± 0.00 | 3.78 ± 0.01 | 3.87 ± 0.05 |
| | Titration acidity (%) | 0.20 ± 0.00 | 0.21 ± 0.01 | 0.18 ± 0.01 |
| | L-value | 88.02 ± 0.34 | 84.70 ± 0.76 | 84.14 ± 0.90 |
| | a-value | 0.34 ± 0.07 | 0.45 ± 0.11 | 0.55 ± 0.10 |
| | b-value | 5.40 ± 0.12 | 6.79 ± 0.87 | 7.96 ± 0.47 |
| | ΔE | 0 | 3.60 | 4.65 |

¹⁾*Dongchimi* radish and juice were separated and frozen at -70°C respectively; thawed with 915 MHz microwave.

²⁾*Dongchimi* radish and juice were frozen at -70°C together; thawed with 915 MHz microwave.

³⁾Values are mean ± standard deviation.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Table 2. Effects of sample size on the quality of *dongchimi* radish frozen at -70°C and thawed with 915 MHz microwave

| Measurement | Condition | Non-frozen | Sample size (cm) | | |
|----------------------------------|-----------|----------------------------|------------------|--------------|--------------|
| | | | 2×2×6 | 4×4×6 | 6×6×6 |
| Thawing time (sec) ¹⁾ | | 0 | 105 | 130 | 175 |
| L-value | | 62.07 ± 2.15 ²⁾ | 48.99 ± 3.13 | 48.57 ± 2.68 | 45.74 ± 1.91 |
| a-value | | -1.88 ± 0.79 | -0.76 ± 0.63 | -0.71 ± 0.43 | -0.79 ± 0.31 |
| b-value | | 4.62 ± 0.98 | 2.81 ± 0.76 | 2.32 ± 0.92 | 2.02 ± 0.51 |
| ΔE ³⁾ | | 0 | 13.25 | 13.74 | 16.57 |
| Relative hardness (%) | | 100 | 91.8 ± 6.97 | 84.8 ± 8.86 | 83.8 ± 8.36 |

¹⁾The thawing time was determined when the center temperature of sample reached to 4°C.

²⁾Values are mean ± standard deviation.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

동결한 것이 변화가 더 크게 나타났으며 결과적으로 ΔE 값도 높게 나타났다.

동결 및 해동시 무의 size가 동치미 품질에 미치는 영향

-70°C deep freezer에서 동결되고 915 MHz microwave로 해동된 동치미 무의 size가 품질에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 무의 size가 커질수록 relative hardness는 각각 91.8%, 84.8%, 83.8%로 감소하였고, L, b, ΔE 값도 점차적으로 증가하였다. 무의 size가 커질수록 동결 속도가 느려지므로 얼음 결정이 크게 형성되어 조직에 손상을 많이 주고 해동속도도 느려지므로 조직의 연화가 증가된 것으로 판단되었다.

동결 및 해동 방법이 동치미 무의 품질에 미치는 영향

Table 3에 동치미 무의 동결 및 해동 방법에 따른 해동 시간 및 표면 온도를 나타내었다. 동치미 무의 해동은 중심부의 온도가 4°C에 도달하였을 때 완료하였다. -20°C에서 동결한 무는 -70°C에서 동결한 것보다 해동 시간이 조금 단축되었고, -70°C에서 동결한 것

과 액체 질소를 이용해서 동결한 무는 모두 -70°C에서 저장하였기 때문에 해동 시간의 차이는 거의 없었다. 4°C 해동의 경우 주위의 온도가 낮기 때문에 오랜 시간이 소요됐지만* 중심과 표면의 온도차는 적게 나타났다. 915 MHz microwave를 이용한 해동은 다른 해동 방법보다 해동 속도가 현저히 증가하였으며, 중심과 표면의 온도차는 2.5~2.9°C 정도이므로 표면이 과열되는 2,450 MHz microwave의 문제점을 해소할 수 있었고 균일 해동이 가능하였다. 이상의 내용은 동결육의 급속 해동에 915 MHz microwave를 적용 시 표면과열 현상을 방지한 Lee와 Park⁽²⁴⁾의 결과와 일치하였다.

동결 및 해동 방법에 따른 PE 활성 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 조직의 hardness에 기여하는 PE는 동결 및 해동 후에 전반적으로 감소하였지만 액체질소로 동결하고 915 MHz microwave로 해동한 동치미 무(이하 LN-915MW로 칭함)는 동결전의 효소활성을 100%로 하였을 때 94.4%로 잔존 활성이 가장 큰 것으로 나타났다. PE 활성은 동결 및 해동 방법에 따라 유의적인 차이를 나타내었다(P<0.001). Main 등⁽²⁵⁾은 딸

Table 3. Effects of freezing and thawing methods on thawing time and surface temperature of *dongchimi*

| Freezing method | Thawing method | <i>Dongchimi radish</i> | | <i>Dongchimi juice</i> |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| | | Thawing time ¹⁾ (min) | Surface temp (°C) | Thawing time ²⁾ (min) |
| -20°C | 4°C | 285.0 | 5.3 | 1530.0 |
| | 27°C | 68 | 7.9 | 4.25 |
| | 915 MHz MW ³⁾ | 1.5 | 6.5 | 1.7 |
| -70°C | 4°C | 295.2 | 5.5 | 1555.2 |
| | 27°C | 74 | 8.1 | 4.50 |
| | 915 MHz MW | 1.75 | 6.9 | 1.92 |
| LN ₂ ⁴⁾ | 4°C | 295.2 | 5.5 | |
| | 27°C | 74 | 8.0 | |
| | 915 MHz MW | 1.75 | 6.8 | |

¹⁾The thawing time was determined when the center temperature of *dongchimi* radish reached to 4°C.

²⁾The thawing time was determined when the volume of thawed *dongchimi* juice was 50% of total volume.

³⁾Microwave. ⁴⁾Liquid nitrogen.

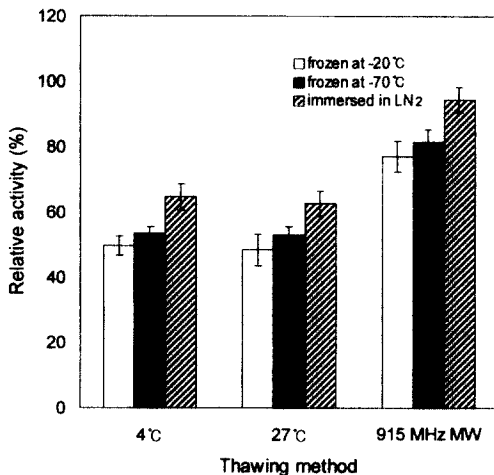


Fig. 1. Effects of freezing and thawing methods on pectinesterase relative activity (%) of *dongchimi* radish. Error bars represent the standard deviation.

기를 동결하였을 때 PE의 활성이 증가한다고 보고하였지만 동치미의 경우는 PE 활성이 저해되는 pH 3.8 부근에서 동결되므로 해동 속도가 느릴수록 PE가 낮은 pH에 노출되는 시간이 길어지므로 PE 활성이 낮아졌다고 판단되었다.

동결 및 해동 방법에 따른 PG 활성 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 조직의 연화와 관계 있는 PG는 PE와 마찬가지로 동결 및 해동 후에 감소하는 경향을 나타내었다. 동결이 PG의 활성을 저해한다는 보고⁽²⁶⁾가 있었고, 27°C 해동이 가장 높은 PG 활성을 나타내었고 4°C 해동, 915 MHz microwave을 이용한 해동 순으로 활성이 높게 나타났다. 동결 속도가 빠를수록 PG 활성이 낮게 나타나는 경향을 보였으며, LN-915MW의 PG가 69.7%를 나타내어 가장 많이 감소된 것으로 나

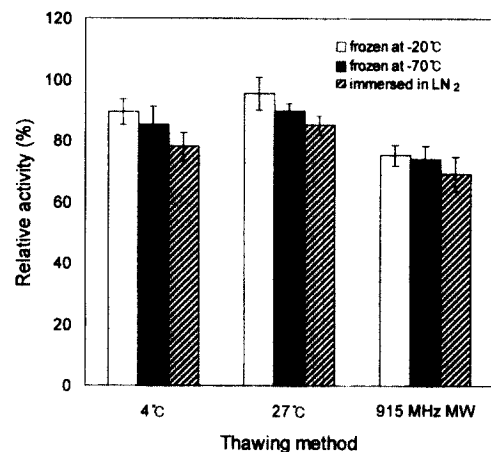


Fig. 2. Effects of freezing and thawing methods on polygalacturonase relative activity (%) of *dongchimi* radish. Error bars represent the standard deviation.

타났다. PG 활성은 동결 및 해동 방법에 따라 유의적인 차이를 나타내었다($P < 0.001$).

동결 및 해동 방법을 변화하였을 때 동치미의 무 조직의 hardness에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 동일한 해동 조건에서 -20°C에서 동결한 것 보다 -70°C에서 동결한 동치미가 높은 hardness를 나타내었고 액체질소를 이용해서 동결된 동치미가 가장 높은 hardness를 나타내었다. 급속 동결을 하면 얼음 결정 형성 온도대인 -4~0°C를 빠르게 지나가기 때문에 얼음 결정이 미세하게 형성되어 무 조직에 손상을 적게 주었기 때문에 동결전의 texture를 유지 할 수 있었다고 판단된다⁽¹⁰⁾. 동일한 동결조건에서 915 MHz microwave을 이용한 해동 방법이 가장 높은 hardness를 나타내었고, 그 다음은 4°C 해동이 높았고, 27°C 해동이 가장 낮았다. 결과적으로 LN-915MW의 relative hardness가

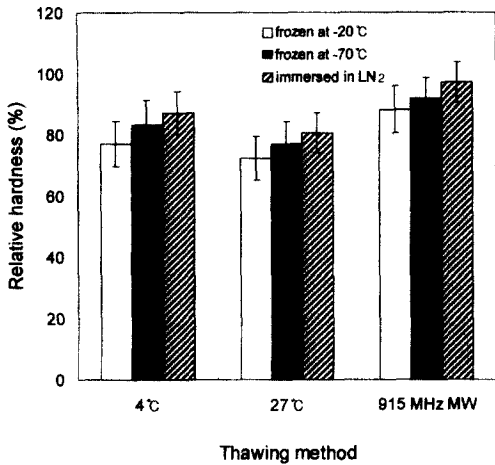


Fig. 3. Effects of freezing and thawing methods on relative hardness (%) of *dongchimi* radish. Error bars represent the standard deviation.

97.2%으로 처리전의 상태와 비교하여 거의 차이가 없기에 장기 저장의 가능성을 제시하였다. 동치미 무의 hardness는 동결 및 해동 방법에 따라 유의적인 차이를 나타내었다($P < 0.001$). 이와 같은 결과는 당근을 급속 동결하였을 때 cell damage를 방지할 수 있다고 보고한 Fuchigami 등⁽¹⁸⁾의 결과와 일치하여 급속 동결이 무의 hardness 유지에 효과적이라고 판단되었다.

Table 4에 동결 및 해동 방법에 따른 동치미 무 표면의 색도 측정값을 나타내었다. L값은 모든 처리구가 동결전보다 감소하는 경향을 보였지만 LN-915MW는 54.2로 가장 높게 나타났으며, -20°C에서 동결하고 27°C에서 해동한 것이 44.7로 가장 작은 값을 나타내었다. 동결전의 무의 a, b값은 L값보다 상대적으로 매우 낮았고, 처리 후에도 a, b값은 별다른 차이가 없었다. LN-915MW가 가장 적은 L값의 변화를 나타냈으며

ΔE값도 가장 낮게 나타났다. 동결 속도와 해동 속도가 빨라질수록 ΔE값이 감소하므로 급속 동결과 급속 해동은 전체적인 색도를 유지하는데 효과적이라고 판단되었다. 이것은 동결한 복숭아를 microwave로 급속 해동 시 다른 해동 방법보다 L값의 변화가 적었다고 보고한 Phan⁽²⁷⁾의 결과와 일치하였다. L, b값은 동결 및 해동 방법에 따라 유의적인 차이를 나타냈으나 ($P < 0.01$), a값은 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$).

동결 및 해동 방법이 동치미 액의 품질에 미치는 영향

Table 3에 동치미 액의 동결 및 해동 방법에 따른 해동 시간 및 온도 분포를 나타내었다. 동치미 액의 해동은 녹은 액의 양이 전체 부피의 50%에 도달하였을 때 완료하였다. 동치미 액도 동치미 무와 마찬가지로 -20°C에서 동결된 것이 -70°C에서 동결된 것보다 해동 시간이 단축되었고, 915 MHz microwave에 의한 급속 해동의 효과를 볼 수 있었다. 이러한 해동 시간의 단축은 산업 현장이나 가정에서 경제성, 편의성, 간편성 등을 향상시킬 것으로 기대된다.

Table 5에 동결 및 해동 방법이 동치미 액의 pH와 산도에 미치는 영향을 나타내었다. 발효 적숙기인 pH 3.80에서 동결한 동치미 액을 해동하면 pH는 약간 감소하는 경향을 나타내었다. -70°C에서 동결하고 915 MHz microwave로 해동한 동치미 액의 pH는 가장 높은 3.78을 나타내었고, -20°C에서 동결되고 4°C 해동된 동치미 액의 pH는 가장 낮은 3.75를 나타내었다. 해동 시간이 길어짐에 따라 미생물의 의한 유기산의 생성이 많아지므로 4°C 해동이 가장 낮은 pH값을 나타낸 것이라 생각되었다. 산도의 경우 동결 및 해동 후 조금 증가하였으나, pH와 산도 모두 처리 방법에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P > 0.05$).

동결 및 해동 방법이 동치미 액의 총세균수와 젖산

Table 4. Effects of freezing and thawing methods on L, a, b values and total color difference (ΔE) of *dongchimi* radish

| Freezing method | Thawing method | L-value | a-value | b-value | ΔE ¹⁾ |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|-------------|------------------|
| Non-frozen | | 62.07 ± 2.15 ²⁾ | -1.83 ± 0.79 | 4.62 ± 0.98 | 0 |
| -20°C | 4°C | 47.70 ± 2.22 | -0.11 ± 0.40 | 3.51 ± 0.70 | 14.52 |
| | 27°C | 44.68 ± 3.26 | -0.04 ± 0.79 | 3.01 ± 1.12 | 17.56 |
| | 915 MHz MW ³⁾ | 48.12 ± 3.97 | -0.61 ± 0.46 | 2.93 ± 0.32 | 14.11 |
| -70°C | 4°C | 48.15 ± 2.19 | -0.44 ± 0.42 | 2.46 ± 1.14 | 14.16 |
| | 27°C | 45.55 ± 2.27 | -0.16 ± 0.55 | 1.97 ± 0.98 | 16.81 |
| | 915 MHz MW | 48.99 ± 3.13 | -0.76 ± 0.63 | 2.81 ± 0.76 | 13.25 |
| LN ₂ ⁴⁾ | 4°C | 52.21 ± 2.44 | -0.69 ± 1.15 | 3.85 ± 1.58 | 9.96 |
| | 27°C | 45.80 ± 2.27 | -0.51 ± 0.43 | 2.21 ± 1.89 | 16.50 |
| | 915 MHz MW | 54.22 ± 3.01 | -0.91 ± 0.37 | 3.04 ± 0.37 | 8.06 |

¹⁾ΔE = √(ΔL)² + (Δa)² + (Δb)²

²⁾Values are mean ± standard deviation.

³⁾Microwave. ⁴⁾Liquid nitrogen.

Table 5. Effects of freezing and thawing methods on pH and titrable acidity of dongchimi juice

| Freezing method | Thawing method | pH | Titrable acidity (%) |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Non-frozen | | 3.80 ± 0.00 ¹⁾ | 0.20 ± 0.00 |
| -20°C | 4°C | 3.75 ± 0.01 | 0.21 ± 0.00 |
| | 27°C | 3.77 ± 0.00 | 0.21 ± 0.00 |
| | 915 MHz MW ²⁾ | 3.78 ± 0.01 | 0.21 ± 0.01 |
| -70°C | 4°C | 3.75 ± 0.01 | 0.21 ± 0.00 |
| | 27°C | 3.77 ± 0.01 | 0.21 ± 0.00 |
| | 915 MHz MW | 3.78 ± 0.01 | 0.21 ± 0.01 |

¹⁾Values are mean ± standard deviation.²⁾Microwave.**Table 6. Effects of freezing and thawing methods on total aerobes and lactic acid bacteria of dongchimi juice**
(unit : CFU/mL)

| Freezing method | Thawing method | total aerobes | lactic acid bacteria |
|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Non-frozen | | 3.28 × 10 ⁸ | 2.50 × 10 ⁸ |
| -20°C | 4°C | 6.62 × 10 ³ | 4.46 × 10 ³ |
| | 27°C | 7.04 × 10 ³ | 3.94 × 10 ³ |
| | 915 MHz MW ¹⁾ | 5.14 × 10 ³ | 2.88 × 10 ³ |
| -70°C | 4°C | 6.24 × 10 ³ | 4.18 × 10 ³ |
| | 27°C | 5.70 × 10 ³ | 3.48 × 10 ³ |
| | 915 MHz MW | 2.94 × 10 ³ | 1.36 × 10 ³ |

¹⁾Microwave.

균수에 미치는 영향을 Table 6에 나타내었다. 동결전의 총세균수는 3.28 × 10⁸ CFU/mL이고 젖산균수는 2.50 × 10⁸ CFU/mL이었다. -20°C에서 동결된 것보다 -70°C에 동결된 동치미 액의 총세균수와 젖산균수가 더 감소하였는데, 동결 시 얼음 결정 생성과 급격한 온도변화에 의한 영향으로 미생물이 사멸된 것으로 판단되었다. 915 MHz microwave를 이용한 해동이 27°C 해동과 4°C 해동보다 미생물의 사멸효과가 더 좋았고 microwave로 해동 시 효과적으로 세균 세포 및 포자를 파괴한다고 보고되고 있어서²⁸⁾, 본 연구의 결과와

일치하였다.

Table 7에 동결 및 해동 방법이 동치미 액의 색도에 미치는 영향을 나타내었다. 동결전의 L값은 88.02, a값은 0.34, b값은 5.40이었다. 전반적으로 동결 및 해동 후 동치미 액의 L값은 조금 감소하였고, a, b값은 증가하는 것으로 나타났다. 4°C 해동은 해동 중에 주위의 온도가 낮기 때문에 색도의 변화가 가장 작게 나타난 것으로 판단되었다. 동치미 무보다는 동치미 액이 전체적인 색도의 변화가 적었고 ΔE값도 낮게 나타났다. L, a, b값 모두 동결 및 해동 방법에 따라 유의적인 차이를 나타냈었다(P<0.01).

요 약

동치미를 동결하면 미생물의 사멸 및 성장과 효소의 작용이 정지되어 더 이상 발효가 진행되지 않아 산패 및 조직의 연화를 방지할 수 있으므로 동결 저장은 동치미의 효과적인 저장 방법이다. 그러나 일반적인 동결 방법과 해동 방법으로는 동결 및 해동 공정 시 품질의 변화가 발생하는 문제점이 있기 때문에 액체질소를 이용한 급속 동결 및 915 MHz microwave을 이용한 급속 해동 공정을 실시하였다. 동치미를 제조한 후 발효 적숙기인 pH 3.8에서 동결하였는데 동치미 무와 액을 함께 동결할 경우 동치미 무의 hardness가 크게 감소하기 때문에 무와 액을 각각 분리하여 동결시켰다. 동치미 무의 size는 2×2×6cm이 품질의 변화를 최소화할 수 있는 크기이었고, 동치미 액은 5×10×15cm로 설정하였다. 동치미 무의 경우 액체질소로 동결하고 915 MHz microwave로 해동하였을 때 조직의 hardness에 기여하는 pectinesterase activity가 가장 높았고, 조직의 연화에 작용하는 polygalacturonase activity가 가장 낮아서 hardness가 가장 좋았으며 색도의 변화도 가장 적었다. 동치미 액의 경우 -70°C에서 동결하고 915 MHz microwave로 해동하였을 때 pH와

Table 7. Effects of freezing and thawing methods on L, a, b values and total color difference (ΔE) of dongchimi juice

| Freezing method | Thawing method | L-value | a-value | b-value | ΔE ¹⁾ |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|-------------|------------------|
| Non-frozen | | 88.02 ± 0.34 ²⁾ | 0.34 ± 0.07 | 5.40 ± 0.12 | 0 |
| -20°C | 4°C | 87.49 ± 1.86 | 0.43 ± 0.11 | 5.73 ± 1.93 | 0.63 |
| | 27°C | 85.25 ± 1.58 | 0.49 ± 0.05 | 6.81 ± 0.67 | 3.11 |
| | 915 MHz MW ³⁾ | 84.54 ± 0.54 | 0.46 ± 0.05 | 6.80 ± 0.24 | 3.75 |
| -70°C | 4°C | 87.69 ± 1.22 | 0.34 ± 0.10 | 5.98 ± 0.58 | 0.67 |
| | 27°C | 86.82 ± 0.84 | 0.35 ± 0.05 | 5.47 ± 0.29 | 1.20 |
| | 915 MHz MW | 84.70 ± 0.76 | 0.45 ± 0.11 | 6.79 ± 0.87 | 3.60 |

¹⁾ΔE = √((ΔL)² + (Δa)² + (Δb)²²⁾Values are mean ± standard deviation.³⁾Microwave.

산도의 변화가 적었으며 미생물이 가장 많이 사멸되었다. 따라서 급속 동결 및 급속 해동을 이용한 저장 방법은 동치미의 장기 저장 시 효과적인 방법으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 1995년 농림수산부에서 시행한 농림수산 기술개발사업에 의해 수행된 결과중의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

문헌

- Um, D.H., Chang, H.G. and Kim, W.J. Effect of pasteurization on quality characteristics of low salt dongchimi juice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29(4): 730-736 (1997)
- Kang, K.O., Ku, K.H. and Kim, W.J. Combined effect of brining in hot solution and salts mixture addition for improvement of storage stability of dongchimi. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20(6): 559-564 (1991)
- 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. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20(4): 511-517 (1988)
- Yook, C., Chang, K., Park, K.H. and Ahn, S.Y. Pre-heating treatment for prevention of tissue softening of radish root kimchi. *Korean J. Food Sci. Technol.* 17(6): 447-453 (1985)
- Lee, Y.H. and Yang, I.W. Studies on the packaging and preservation of kimchi. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 13(3): 207-218 (1970)
- Cha, B.S., Kim, W.J., Byun, M.W., Kwon, J.H. and Cho, H.O. Evaluation of gamma irradiation for extending the shelf life of kimchi. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21(1): 109-119 (1989)
- Huh, Y.J. and Rhee, H.S. Effect of preheating and concentration on texture of cucumber kimchi during fermentation. *Korean J. Soc. Food Sci.* 6(2): 1-6 (1990)
- Kim, W.J., Kang, K.O., Kyung, K.H. and Shin, J.I. Addition of salts and their mixtures for improvement of storage stability of kimchi. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23(2): 188-191 (1991)
- Hong, K. and Park, J. Effects of high hydrostatic pressure on the shelf-life and quality of dongchimi. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30(3): 602-607 (1998)
- Yang, C.Y. *Fundamentals and Application of Food Freezing*. pp. 230-239. Sejinsa, Korea (1997)
- Kim, Y.H., Yand, S.Y. and Lee, M.H. Quality changes of thawed porcine meat on the thawing methods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22(2): 123-128 (1990)
- Jason, A.C. Rapid thawing of foodstuffs. *IFST-Proceedings* 7(3): 146-157 (1974)
- Datta, A.K. Heat and mass transfer in the microwave processing of food. *Chem. Eng. Prog.* 86: 47-53 (1990)
- Bialod, D., Jolion, M. and LeGoff, R. Microwave thawing of food products using associated surface cooling. *J. Microwave Power* 13(3): 269-274 (1976)
- Virtanen, A.J., Goedecken, D.L. and Tong, C.H. Microwave assisted thawing of model frozen food using feed-back temperature control and surface cooling. *J. Food Sci.* 62(1): 150-154 (1997)
- Taoukis, P., Davis, E.A., Davis, H.T., Gordon, J. and Talmon, Y. Mathematical modeling of microwave thawing by the modified isotherm migration method. *J. Food Sci.* 52(2): 455-463 (1987)
- Fuchigami, M., Miyazaki, K. and Hyakumoto, N. Frozen carrots texture and pectic components as affected by low-temperature-blanching and quick freezing. *J. Food Sci.* 60(1): 132-136 (1995)
- Fuchigami, M., Hyakumoto, N. and Miyazaki, K. Programmed freezing affects texture, pectic composition and electron microscopic structures of carrots. *J. Food Sci.* 60(1): 137-141 (1995)
- Fuchigami, M., Hyakumoto, N., Miyazaki, K., Nomura, T. and Sasaki, J. Chinese cabbage midribs and leaves physical changes as related to freeze-processing. *J. Food Sci.* 60(6): 1260-1264 (1995)
- AOAC. *Official Method of Analysis*. p. 366. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1980)
- AOAC. *Official Method of Analysis*. p. 824. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1980)
- Bhattacharya, M. and Hanna, M.A. Kinetics of drip loss, cooking loss and color degradation in frozen ground beef during storage. *J. Food Eng.* 9: 83-96 (1989)
- Park, H.O., Kim, Y.K. and Yoon, S. A study of enzyme system during kimchi fermentation. *Korean J. Soc. Food Sci.* 7(4): 1-7 (1991)
- Lee, J.K. and Park, J. Rapid Thawing of Frozen Pork by 915 MHz Microwave. *Korean J. Soc. Food Sci.* 31(1): 54-61 (1999)
- Main, G.L., Morris, J.R. and Wehunt, E.J. Effect of preprocessing treatment on the firmness and quality characteristics of whole and sliced strawberries after freezing and thermal processing. *J. Food Sci.* 51(2): 391-394 (1986)
- Alonso, J., Canet, W. and Rodriguez, M.T. Effect of various thermal pre-treatment on the texture of frozen cherries (*Prunus avium* L.). Related enzyme activities. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 196: 214-218 (1993)
- Phan, P.A. Microwave thawing of peaches a comparative study of various thawing processes. *J. Microwave Power* 12(4): 261-271 (1977)
- Ziauddin, K.S., Rao, D.N., Ramesh, B.S. and Amla, B.L. Effect of freezing, thawing and frozen storage on microbial profiles of buffalo meat. *J. Food Sci. Technol.* 30(6): 465-467 (1993)

(1999년 10월 1일 접수)