

고산도 동치미 제조를 위한 최적 조건 및 품질에 미치는 영향

임주영^{1,2} · 최윤정¹ · 김예솔^{1,3} · 이미애¹ · 민승기^{1*}

¹한국식품연구원 부설 세계김치연구소, ²경희대학교 식품영양학과, ³조선대학교 식품영양학과

Optimum Conditions for Manufacturing High-Acidity *Dongchimi* and its Effect on the Quality

Ju Young Lim^{1,2}, Yun-Jeong Choi¹, Ye Sol Kim^{1,3}, Mi-Ai Lee¹, and Sung Gi Min^{1*}

¹World Institute of Kimchi an Annex of Korea Food Research Institute

²Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

³Department of Food and Nutrition, Chosun University

Abstract

Dongchimi is one of the most representative types of watery kimchi in Korea. Although the scope of application of *dongchimi* has been expanded, research on the quality of *dongchimi* is insufficient compared to that of *baechu kimchi*. This study aimed to find the optimal manufacturing condition of high-acidity *dongchimi* and investigate the effects of potassium citrate (P) and sugar (S) on quality. Different *dongchimi* samples (Control, S, P) were prepared and stored at 15°C for 15 days. Among the various sugars, sucrose made the highest acidity of *dongchimi*. When potassium citrate was added as a pH buffer, the acidity was 2.2 times higher than the control group. In the PS group, where sucrose and potassium citrate were added, the acidity and organic acid content were 3-fold and 3.7-fold higher, respectively, than those in the control group. As a result of the analysis of the free sugar content, the metabolism of lactic acid bacteria was expected to be relatively more activated in the PS group. Therefore, this study could be utilized in the *dongchimi* manufacturing industry or as primary data for other *dongchimi* research.

Keywords: kimchi, *Dongchimi*, lactic acid bacteria, acidity, quality

서 론

김치는 한국의 대표적인 전통 발효 식품으로, 배추나 무 같은 채소를 주원료로 하여 마늘, 생강, 고춧가루 등 다양한 조미료와 함께 버무려서 제조 후 발효한다(Kim & Kim, 1994; Chang & Chang, 2010). 김치는 주재료로 사용하는 채소에 따라 수백 종의 김치로 분류되며, 만드는 방법에 따라서는 일반 김치와 물김치로 나눌 수 있다(Cheigh et al., 1994). 그 중 동치미는 가장 대표적인 물김치로 무를 파, 마늘, 생강 등의 부재료와 함께 식염을 푼 물(2-4% (w/v))에 발효시켜 만든다(Jeong et al., 2013).

과거에는 동치미와 같은 김치류가 가정에서 주로 제조되어 소비되었으나, 최근에는 급식 및 외식업체 등의 수요가 늘면서 공장에서의 제조가 증가하고 있다. 특히, 동치미는 김치의 주용도인 반찬으로써의 역할 뿐 아니라 냉면육수

등 가공식품의 원료로 활용되며 물과 무기질 및 비타민을 섭취할 수 있어 음료로서도 전망이 밝은 식품이다(Ko et al., 1995). 특히 동치미의 국물 속에는 다량의 유기산과 탄산가스를 함유하고 있고, 주원료인 무에는 아밀라아제(amylase), 디아스타아제(diastase), 리파아제(lipase) 등 소화분해 효소를 다량 포함하고 있어 다른 식품의 소화를 촉진시키는 기능 또한 가지고 있다(Park, 2012). 그러나 동치미는 일정 기간 후 polygalacturonase와 같은 효소가 생성되고 식물 세포 사이에 존재하는 펙틴질을 분해하여 무가 물러 버리는 연부 현상이 발생하는 문제점이 있다(Ahn, 2006). 뿐만 아니라 동치미는 큰 부피를 차지하여 장기 저장 및 유통이 어려운 단점이 있다. 실제로 이러한 유통상의 문제를 해결하고자 동치미를 동결건조하여 분말화한 방법도 연구되었으나, 산도와 탄산미가 크게 감소하는 한계점이 있었다(Tae, 2008). 유기산은 동치미 특유의 시원하고 상쾌한 맛을 내어 관능적 품질 특성에 있어 중요한 인자이므로 이를 해치지 않는 산도 유지 방안에 대한 추가 연구가 필요한 실정이다(Chyun & Lee, 1976).

현재까지 발표된 주요 동치미 관련 연구로는 동치미의 품질 특성에 관한 연구(Kang et al., 1991; Ann, 2001; Kim & Jang, 2005; Park et al., 2008), 맛 성분과 관련한 연구(Lee

*Corresponding author: Sung Gi Min, Practical Technology Research Group, World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Korea
Tel: +82-62-610-1806, Fax: +82-62-610-1850
E-mail: skmin@wikim.re.kr
Received March 16, 2023; revised April 18, 2023; accepted May 1, 2023

& Lee, 1990; Cho et al., 2015), 재료나 발효 조건에 따른 성분 변화(Chang et al., 1996; Huh et al., 2003; Ahn, 2006; Jang et al., 2015), 기능성 연구(Seo et al., 2011; Choi et al., 2015), 최적 발효를 위한 연구(Ko et al., 1995; Noh et al., 2008), 동치미를 활용한 타식품 개발 연구(Choi et al., 2014; Chun et al., 2020) 등이 있다. 하지만, 앞의 연구는 동치미의 품질특성과 활용방안에 관한 연구로, 동치미의 저장 및 유통 효율성을 향상시키고 산업적 이용성을 증대시키는 방법에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

고산도 동치미는 저장·유통 단계에서 상대적으로 적은 부피를 차지하고, 소비 단계에서 희석하여 사용할 수 있어 저장과 운송 비용을 절감시키고 동치미를 산업적으로 활용하기가 더 용이할 것이라 기대된다. 따라서 본 연구는 동치미의 산업 이용성을 증대시키고자 다양한 식품에 활용될 수 있는 고산도 동치미를 제조하고, 물리적·화학적·미생물학적 품질 특성에 미치는 영향을 확인하고자 진행하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

동치미 제조를 위한 무, 마늘, 양파, 생강은 광주광역시 소재의 지역 마트에서 구입하였으며, 갈아서 즙의 형태로 사용하였다. 또한, 정제염(Hanju Salt, Ulsan, Korea), 설탕, 올리고당(CJ CHEILJEDANG Corp., Seoul, Korea), 물엿(OTTOGI Corp., Gyeonggi-do, Korea)도 상기와 같이 구매하여 바로 사용하였다. 추가로 fructose, glucose, mannitol, sucrose, maltose는 Sigma-Aldrich Co. (MO, USA)에서, 구연산 칼륨은 ES food (Gyeonggi-do, Korea)에서 구매하였다. 모든 분석에는 Daejung (Gyeonggi-do, Korea)에서 구입한 first-grade 분석 시약을 사용하였다. 또한, HPLC에 사용된 water와 acetonitrile은 chromatographic grades (Merk, NJ, USA)를 사용하였다.

동치미 제조

동치미는 무즙 30%, 마늘즙 0.5%, 양파즙 5%, 생강즙 0.3%, 정제염 1.5%의 비율이 되도록 만들었다. 첨가 당 종류를 결정하기 위한 실험의 시료는 만들어진 동치미 국물에 구연산 칼륨 및 4% 수준의 sucrose, fructose, glucose, mannitol, 물엿, 올리고당을 각각 첨가하여 비교하였다. 이후 고산도 동치미 조제를 위한 실험에서는 동치미 국물에

Table 1. Type of Dongchimi sample

Sample ¹⁾	Control	S4	PS4	PS8	PS12
Potassium citrate	X	X	O	O	O
Sugar	X	4%	4%	8%	12%

¹⁾ Control, without potassium citrate and sugar; S4, 4% sugar added; PS4, potassium citrate and 4% sugar added; PS8, potassium citrate and 8% sugar added; PS12, potassium citrate and 12% sugar added.

구연산 칼륨(P; potassium citrate) 및 당 함량(S4-12; sugar 4-12%)을 달리하여 Table 1과 같이 시료를 각각 조제하였다. 시료는 15°C에서 15 day 동안 보관하였으며 일정 간격으로 품질 특성을 분석하였다.

이화학적 특성

각각의 시료는 pH meter (TitroLine 5000, SI Analytics GmbH, Mainz, Germany)를 사용하여 24-26°C에서 pH와 산도를 측정했다. 총 산도는 pH 8.3 종말점에 도달할 때까지 0.1 N NaOH로 적정하였으며, 아래 식과 같이 소비된 0.1 N NaOH의 양(mL)을 젯산(% w/w)으로 환산하였다.

$$\text{Acidity (\%)} = \frac{\text{소비된 } 0.1 \text{ N NaOH (mL)} \times 0.009 \times \text{NaOH factor}}{\text{적정에 사용된 시료의 양 (mL)}}$$

염도는 전도식 디지털 염도계(PAL-SALT, ATAGO CO., Tokyo, Japan)로, 당도는 디지털 당도계(Refractometer SCM-1000, HM DIGITAL, Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였다.

일반세균 및 유산균수

동치미 시료를 무균적으로 취한 후 0.85% 멸균생리식염수로 10배 단계 희석하여 미생물 분석에 사용하였다. 호기성 일반세균 및 유산균 수는 각각 Petrifilm™ AC plates과 Petrifilm™ LAB plates (3M™, Seoul, Korea)에 분주한 후 35°C에서 48 h 동안 배양하였다. 각 미생물 수는 3회 측정의 평균으로부터 산출되었으며, log CFU/g으로 표기하였다.

유기산

동치미 시료를 3차 증류수로 희석하여 여과하였다. 이 여과액을 다시 syringe filter (RC, 0.2 µm, 25 mm)로 여과하여 시험용액으로 사용하였다. 표준용액은 oxalic acid, citric acid, tartaric acid, malic acid, succinic acid, lactic acid, fumaric acid 및 acetic acid (Sigma, St. Louis, Missouri, USA) 총 8가지 유기산을 사용하였다.

유기산 함량은 HPLC (Agilent 1260 Infinity, Agilent Technologies, Boblingen, Germany)를 사용하여 분석하였다. 컬럼은 Aminex HP×87H column (7.8 mm × mm, 9 µm, Bio-Rad, CA, USA)를 장착하였으며, 컬럼 온도는 50°C로 설정하였다. Mobile phase는 0.008 N H₂SO₄를 사용하고 flow rate를 0.6 mL/min으로 설정하였다. 검출기는 diode array detector (DAD, 210 nm)를 사용하였으며, injection volume은 10 µL 주입하였다. 동치미 내 유기산은 표준용액과 비교하여 표준 검량곡선을 작성하고 그 함량을 산출하였다.

유리당

동치미 시료는 희석하여 85°C 이상 수조에서 25 min 간 당류를 추출하였고 방냉 후 3000 rpm으로 10 min 간 원심분리하였다. 얻어진 상층액을 0.2 µm membrane filter (25 mm,

PTFE, Whatman)로 여과한 후 시험용액으로 사용하였다. 표준용액은 fructose, glucose, mannitol, sucrose, maltose (Sigma, St. Louis, Missouri, USA) 총 5가지 유리당을 사용하였다.

유리당 함량은 HPLC (Agilent 1260 Infinity, Agilent Technologies, Boblingen, Germany)를 사용하여 분석하였다. 컬럼은 Asahipak NH2P-50 4E (4.6 × 250 mm, 5 μm, Shodex, Tokyo, Japan)를 장착하였으며, 컬럼 온도는 30°C로 설정하였다. Mobile phase는 acetonitrile : water = 75 : 25의 비율(v/v)로 사용하고 flow rate를 1.0 mL/min으로 설정하였다. 검출기는 refractive index detector (RID)를 사용하였으며, injection volume은 6 μl 주입하였다. 동치미 내 유리당은 표준용액과 비교하여 표준 검량곡선을 작성하고 그 함량을 산출하였다.

통계분석

시료 간의 유의적인 차이를 알아보기 위해 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 수행하였으며($p < 0.05$), 사후검정은 95% 신뢰수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 통계 처리는 GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software Inc., CA, USA)과 R statistical system 4.1.3 (R Development Core Team 2022)을 사용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

고산도 동치미 제조를 위한 첨가 당 선정

동치미 발효에 관여하는 미생물은 유기산을 생성하여 동치미 특유의 시원한 맛을 부여하며 산도를 높일 수 있다 (Kim et al., 1997). Ko et al. (1995)는 각종 유기산을 생성하는 균들은 생육 환경과 생리작용이 달라서, 원료 종류, 배합비 등 숙성 조건에 따라 생성 유기산의 양이 달라짐을 확인한 바 있다. 또한 Kim et al. (2018)은 적절한 탄소 공급원이 미생물의 성장을 활성화하고 비용을 절감하는데 효과적이라고 보고하였다. 따라서 동치미의 숙성과정에서 탄소원으로 공급할 당류를 선정하고자 다음을 진행하였다. 동치미 시료에 4% 수준의 sucrose, fructose, glucose, mannitol, 물엿, 올리고당을 각각 첨가하여 15일간 발효시킨 결과 산도의 변화는 Fig. 1과 같다. 산도는 무첨가 control 군에서 평균 $0.52 \pm 0.01\%$ 이었으며, mannitol 군에서 가장 낮은 $0.41 \pm 0.02\%$, sucrose 군에서 가장 높은 $0.67 \pm 0.01\%$ 로 나타났다. 이는 유산균이 대사에 이용할 수 있는 탄소원을 공급하는 것이 산도를 높이는데 도움을 주며, 그 중 sucrose가 가장 산도를 높이는데 적합함을 확인하였다. 이러한 결과는 glucose를 첨가할 때 산 생성량이 오히려 감소하였고 동치미에 다른 당원보다 sucrose를 첨가하였을 때 산도가 가장 높았다는 선행 연구들과 유사하였다(Jung et al., 1985; Chun et al., 1997; Ann, 2001; Ahn, 2006). 이

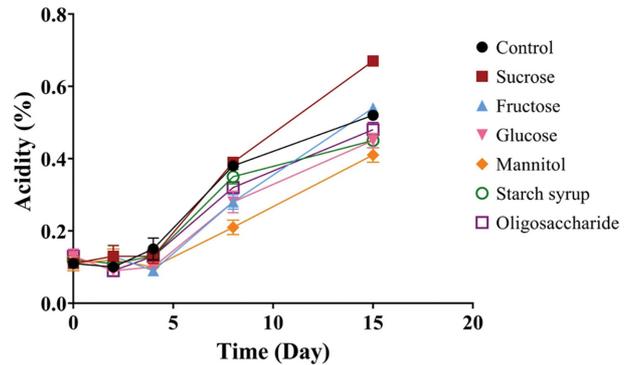


Fig. 1. Change in acidity by type of added 4% sugar during *dongchimi* fermentation (Each point includes an average value and an error bar, and if the error bar is shorter than the symbol size, it is not displayed).

는 유산균인 *Leuconostoc mesenteroides*가 당당류인 glucose와 fructose에서보다 sucrose에서 더 빠르게 성장한다는 연구와도 일치하였다(Dols et al., 1997). 또한, fructose 대사를 통해 mannitol 생성이 증가하면 막 지질 및 단백질 구조를 안정화하고 활성 산소를 제거하여 산화적 손상을 방지할 수 있다는 것으로 알려져 있어(Leslie et al., 1995; Chaturvedi et al., 1996), 미생물의 대사 과정이 산도 증가에 복합적인 영향을 준 것으로 보이지만 앞으로 이 부분에 대한 추가 연구가 필요하다고 사료된다.

고산도 동치미 제조를 위한 구연산 칼륨 첨가의 효과

구연산 칼륨은 대한민국 식품첨가물공전 상 허용된 산도 조절제이며, 선행 연구에서 pH 완충제로서의 효과가 뛰어난 뿐만 아니라 침전이 없고 유산균 증식에 가장 적절하다 확인된 바 있다(Jeong et al., 2021). 따라서 동치미에 구연산 칼륨을 첨가하여 pH 완충 효과와 산도에 미치는 영향을 살펴보았다. Table 1과 같이 조제된 동치미의 pH 및 산도 변화는 Table 2에 제시하였다. 발효가 진행됨에 따라 pH는 0일차에 6.54 ± 0.04 - 7.00 ± 0.01 수준에서 15일차에 3.53 ± 0.02 - 4.18 ± 0.00 수준으로 감소하였으며, 감소폭은 control, S4, PS4, PS8, PS12 샘플에서 각각 약 46%, 48%, 40%, 41%, 40%로 완충제를 넣은 그룹(PS)에서 모두 감소폭이 줄어드는 것을 확인하였다.

또한, 당 함량 조건이 같은 S4와 PS4만을 도식화하여 비교하였을 때(Fig. 2(a)), 구연산 칼륨을 넣지 않은 S4에서 pH가 6.70 ± 0.06 에서 3.46 ± 0.01 로 크게 감소하였고, 구연산 칼륨을 넣은 PS4에서는 6.98 ± 0.02 에서 4.18 ± 0.01 까지 감소하였다. 이에 따라 pH가 4 이상으로 유지된 PS4에서는 산도가 $1.17 \pm 0.15\%$ 까지 점차 증가하여 같은 당 함량 조건 하의 S4의 산도($0.54 \pm 0.04\%$)와 비교하여도 약 2.2배 높아짐을 확인하였다.

동치미는 pH 3.9 ± 0.1 에서 적숙기이고(Ko et al., 1995), 김치류에서 pH는 유산균이 생성하는 다양한 유기산에 의

Table 2. Changes in physicochemical properties during *dongchimi* fermentation

Properties	Time (day)	Control	S4	PS4	PS8	PS12
pH	0	6.54±0.04 ^{aC}	6.70±0.06 ^{aB}	6.98±0.02 ^{aA}	7.02±0.01 ^{aA}	7.00±0.01 ^{aA}
	6	3.92±0.03 ^{bB}	3.64±0.02 ^{bC}	4.63±0.00 ^{bA}	4.63±0.01 ^{bA}	4.63±0.01 ^{bA}
	10	3.69±0.01 ^{bC}	3.54±0.01 ^{bD}	4.36±0.01 ^{bB}	4.39±0.02 ^{bA}	4.37±0.01 ^{bAB}
	15	3.53±0.02 ^{bB}	3.46±0.01 ^{bC}	4.18±0.01 ^{bA}	4.17±0.01 ^{bA}	4.18±0.00 ^{bA}
Titratable acidity (%)	0	0.05±0.01 ^d	0.05±0.01 ^b	0.03±0.00 ^c	0.04±0.01 ^b	0.04±0.01 ^c
	6	0.25±0.01 ^{cB}	0.40±0.02 ^{aB}	0.74±0.14 ^{bA}	0.97±0.14 ^{aA}	0.85±0.14 ^{bA}
	10	0.36±0.03 ^{bC}	0.48±0.01 ^{aC}	0.98±0.13 ^{abB}	1.18±0.21 ^{aB}	1.48±0.04 ^{aA}
	15	0.45±0.05 ^{aB}	0.54±0.04 ^{aB}	1.17±0.15 ^{aA}	1.27±0.08 ^{aA}	1.45±0.16 ^{abA}
Sugar content (brix%)	0	4.00±0.14 ^{aE}	7.90±0.00 ^D	8.80±0.00 ^{aC}	12.53±0.05 ^{bB}	16.43±0.05 ^{aA}
	6	3.70±0.00 ^{bE}	7.70±0.00 ^D	8.07±0.05 ^{bC}	11.93±0.05 ^{bB}	15.83±0.05 ^{bA}
	10	3.63±0.05 ^{bE}	7.67±0.05 ^D	7.90±0.00 ^{bC}	11.77±0.05 ^{bB}	15.77±0.05 ^{bA}
	15	3.60±0.08 ^{bE}	7.80±0.00 ^D	7.93±0.05 ^{bC}	11.80±0.00 ^{bB}	15.70±0.00 ^{bA}

^a All values are the meanSD.

^{a-d} Means values in the same column with different letters are significantly different ($p<0.05$).

^{A-E} Means values in the same row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

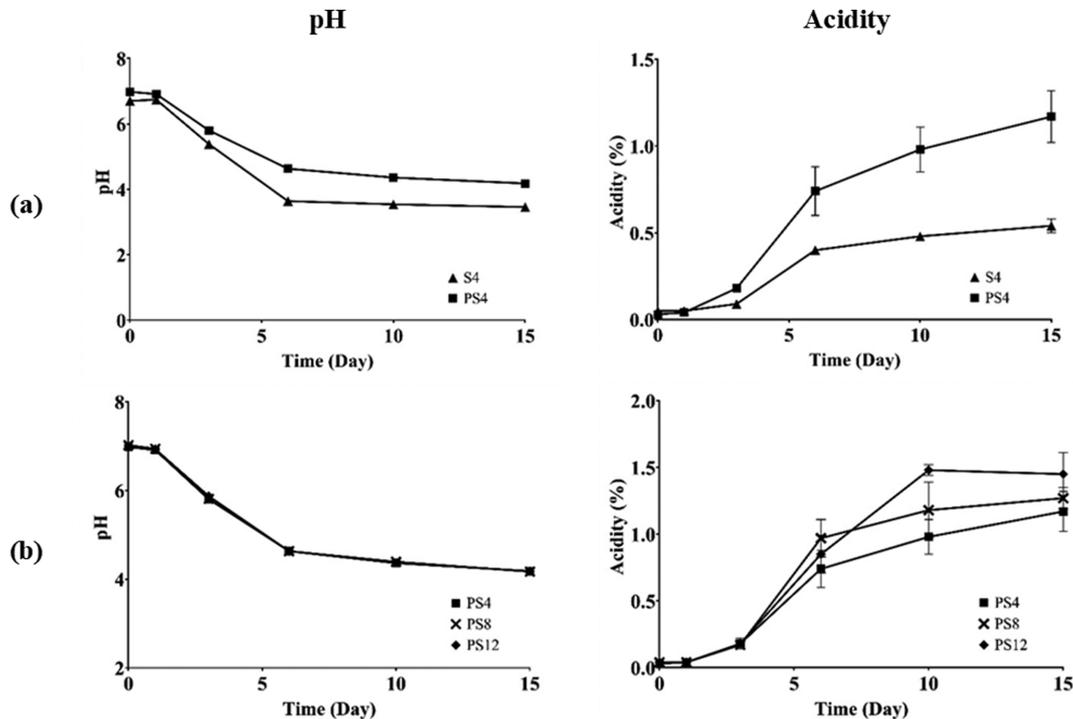


Fig. 2. Changes in pH and acidity of *dongchimi* with potassium citrate (a) and sugar concentration (b) (Each point includes an average value and an error bar, and if the error bar is shorter than the symbol size, it is not displayed).

하여 감소하며 pH 4.5 이하로 내려갈 시 유산균의 생존은 어려운 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2020; Adamberg et al., 2003). 따라서 구연산 칼륨의 첨가는 pH 완충 효과로 유산균의 성장 저해를 막아 유기산 생산이 비교적 원활하게 하며, 동치미 숙성 적기의 pH를 비교적 오래 유지할 수 있었다.

고산도 동치미 제조를 위한 당 증량의 효과

구연산 칼륨의 존재 하에 당 함량을 조절하여 그 영향을

확인하였다. 즉, 산도를 높이는데 가장 적합했던 sucrose를 주요 탄소원으로 사용하고 당 농도를 4-12%까지 증량하여 동치미의 pH 및 산도에 미치는 영향을 비교한 결과는 Fig. 2(b)와 같다. PS4, PS8, PS12에서 pH는 모두 6.98±0.02-7.02±0.01 범위에서 시작하여 pH 4.17±0.01-4.18±0.01 범위까지 꾸준히 감소하였으며 시료 간의 유의적 차이는 없었다. 반면 산도는 모두 0.03±0.00-0.04±0.01%로 유사하게 시작하였으나 PS12에서 가장 빠르게 산도가 증가하여 10 일차에 가장 높은 1.48±0.04%에 도달하였다. 또한, 15일차

에는 PS4, PS8, PS12의 산도가 각각 1.17±0.15, 1.27±0.08, 1.45±0.16%까지 도달하였으나 유의적 차이는 없었다. 따라서 당 함량의 차이는 산도 증가 속도를 조절할 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 당 함량이 높아질수록 exopolysaccharides (EPS) 생성 유산균에 의하여 점도 역시 증가하여 동치미의 품질을 저하시킬 수 있으므로 급격하게 점도가 증가하는 12%를 제외하고 4-8% 내외의 범위로 당 함량을 정함이 적절할 것이다(Zannini et al., 2016).

고산도 동치미 발효 중 미생물 및 유기산 변화

김치류의 발효 중에는 미생물 대사에 의한 다양한 유기산이 생성되므로 미생물과 유기산에는 긴밀한 상관관계가 존재한다 할 수 있다(Shim et al., 2012). 따라서 본 연구에서 개발한 고산도 동치미의 미생물과 유기산의 관계를 확인하고자 호기성 세균수 및 유산균수를 Table 3에 나타냈으며, 주요 유기산 3종의 함량 변화는 Fig. 3에 도식화하여 제시하였다.

Control, S4, PS4, PS8, PS12에서 호기성 세균수의 최대 개체 밀도(maximum population density, MPD)는 각각 8.29±0.01, 8.31±0.03, 8.71±0.01, 8.79±0.05, 8.80±0.03 log CFU/g이었으며, 유산균수의 MPD는 8.34±0.02, 8.30±0.00,

8.95±0.03, 9.01±0.01, 8.95±0.09 log CFU/g로 나타나 구연산 칼륨 처리군(P)에서 비처리군보다 소폭 더 높았지만, 모든 시료에서 호기성 세균과 유산균은 꾸준히 증가하여 8-9 log CFU/g 범위에 도달하는 유사한 경향을 보였다.

반면, 유기산 함량에서는 구연산 칼륨 처리군과 비처리군의 차이가 크게 나타났다. 발효 15일차에 S4와 PS4의 lactic acid 함량은 각각 최대 3,081.86±36.98, 11,463.56±172.53 mg/kg까지 증가하여 3.7배 이상 높았으며, acetic acid 함량은 각각 최대 1,467.95±17.90, 5,918.36±66.90 mg/kg까지 증가하여 4배 이상 높게 나타났다. 다만, PS4, PS8, PS12와 같이 당 함량에 따른 차이는 비교적 크지 않았다. 한편, 초기 citric acid 함량이 구연산 칼륨 처리군에서 높게 나타난 것은 분자 내 구연산 자체에 의한 것으로 사료된다.

유산균은 lactic acid와 같은 유기산 함량을 향상시키거나, 역설적으로 유기산은 pH를 낮추어 미생물의 glucose 소비를 감소시키고 발효과정에서 대사산물 형성을 억제하는 역할을 한다(McDonald et al., 1991; Jiang et al., 2020; Huang et al., 2012). 따라서 균의 최대생장률과 성장 경향은 유사함에도 불구하고 유기산의 함량 차이가 크게 나타난 것은 낮은 pH 환경에 의한 미생물의 대사 저해의 영향으로 사료된다.

Table 3. Changes in viable bacteria during dongchimi fermentation

log CFU/g	Time (day)	Control	S4	PS4	PS8	PS12
Aerobic bacteria	0	4.44±0.05 ^b	4.48±0.01 ^b	4.44±0.01 ^b	4.46±0.05 ^b	4.38±0.20 ^b
	3	5.93±0.01 ^{abD}	5.93±0.02 ^{abD}	6.83±0.00 ^{abB}	6.74±0.04 ^{abC}	6.96±0.00 ^{aA}
	6	8.29±0.01 ^{aC}	8.31±0.03 ^{aC}	8.71±0.01 ^{aA}	8.66±0.02 ^{aAB}	8.61±0.01 ^{aB}
	10	8.17±0.01 ^{aB}	8.27±0.01 ^{aB}	8.66±0.06 ^{aA}	8.79±0.05 ^{aA}	8.78±0.05 ^{aA}
	15	7.75±0.07 ^{aE}	8.12±0.01 ^{aD}	8.41±0.00 ^{aC}	8.66±0.03 ^{aB}	8.80±0.03 ^{aA}
	Lactic acid bacteria	0	4.46±0.01 ^b	4.46±0.05 ^b	4.58±0.06 ^b	4.40±0.19 ^b
3		6.03±0.01 ^{abD}	6.11±0.04 ^{abC}	6.78±0.03 ^{abB}	6.81±0.01 ^{abAB}	6.88±0.00 ^{abA}
6		8.30±0.01 ^{aD}	8.30±0.00 ^{aD}	8.58±0.01 ^{aC}	8.63±0.00 ^{aB}	8.67±0.00 ^{aA}
10		8.34±0.02 ^{aB}	8.29±0.00 ^{aB}	8.95±0.03 ^{aA}	9.01±0.01 ^{aA}	8.95±0.09 ^{aA}
15		7.90±0.03 ^{aC}	8.17±0.03 ^{aB}	8.24±0.02 ^{aB}	8.88±0.01 ^{aA}	8.89±0.01 ^{aA}

* All values are the mean±SD.

^{a-b} Means values in the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-E} Means values in the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

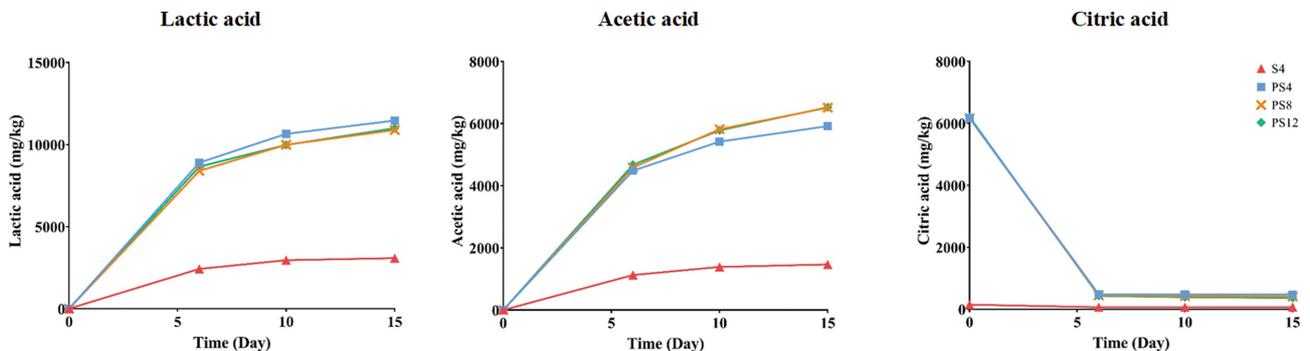


Fig. 3. Changes in organic acid of dongchimi during fermentation (Each point includes an average value and an error bar, and if the error bar is shorter than the symbol size, it is not displayed).

고산도 동치미 발효 중 유리당 변화

동치미 발효 15일차의 유리당 함량은 Fig. 4와 같다. 본 연구에서는 특히 전체 유리당 중 특정 당이 차지하는 비율을 확인하고, 어떠한 대사 경로에 의한 것인지 추론하고자 각 시료의 유리당 함량을 총 당 함량에 대한 상대적 풍부도로 Fig. 4(a)에 나타내었으며, 선행문헌에서 제시한 대사 경로에 따른 당 종류별 함량을 Fig. 4(b)에 추가하였다 (Jang et al., 2015). 대조군에서는 모두 mannitol로 대사되었으며, PS4-12를 비교하였을 때 당 함량이 높아질수록 전체 유리당 중 fructose가 차지하는 비율이 높아졌다. 또한 주목할만한 점은 같은 당 함량의 S4와 PS4를 비교하였을 때 S4에서는 다른 군과 달리 sucrose와 glucose가 확인되었다. 이는 pH가 낮은 S4군에서는 유산균의 대사 활동이 저해되어 첨가한 sucrose를 모두 이용하지 못하고 남겨진

것으로 추정되며, S4를 제외한 그룹에서는 대부분의 glucose가 이미 lactic acid와 같은 대사 산물로 전환되는데 사용되었을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 동치미의 산업 이용성을 확대하기 위해서 고산도 동치미의 최적 조건을 찾고 각각의 요인이 품질에 미치는 영향을 종합적으로 고찰하였다. 동치미에 pH 완충제의 역할을 하는 구연산 칼륨 및 다양한 당을 첨가하여 종래의 동치미와 비교하여 최적 조건을 제시하였다. Sucrose, fructose, glucose, mannitol, 물엿, 올리고당 중 sucrose에서 가장 높은 산도를 나타냈으며, 구연산 칼륨을 첨가할 시 pH 완충 효과로 비첨가군 대비 약 2.2배 산도를 높이는

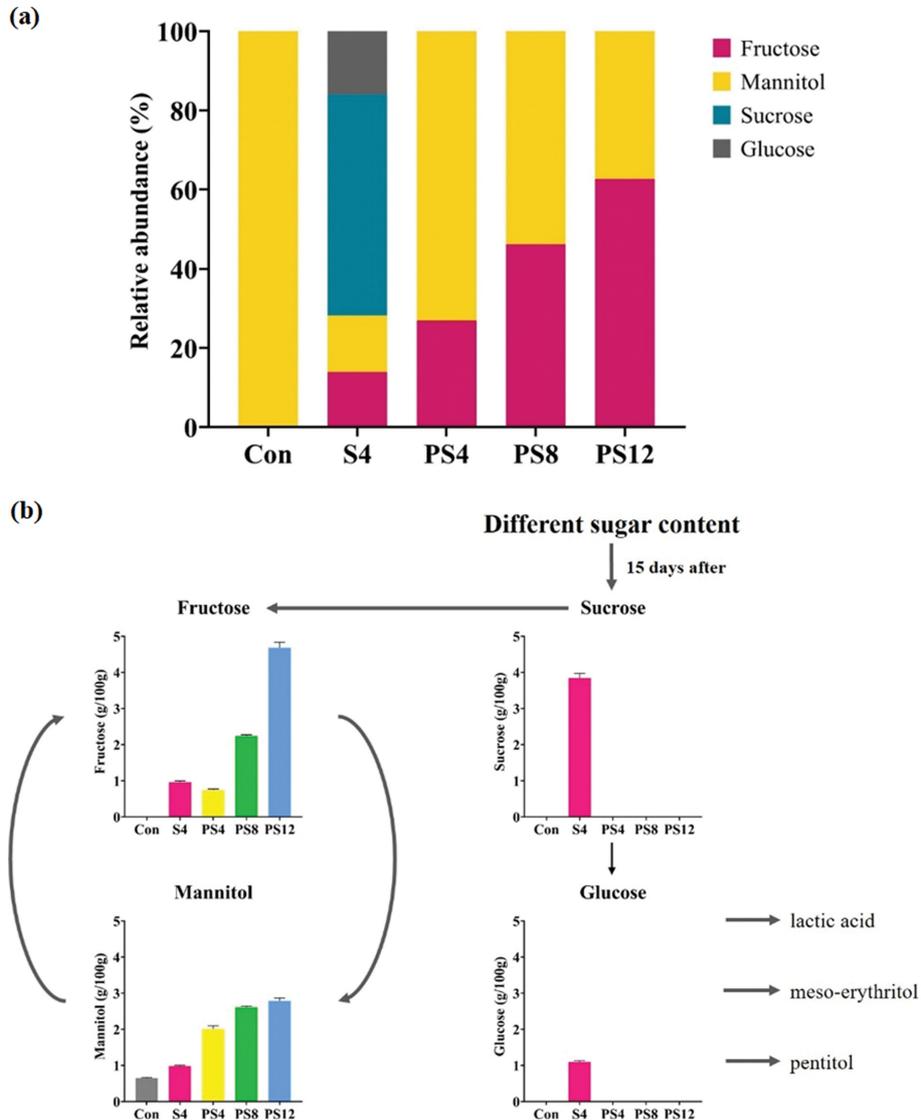


Fig. 4. Free sugar content on the 15th day of *dongchimi* fermentation. The composition of the relative abundance of each free sugar in the total sugar content (a) and changes in content of free sugars according to sugar metabolism pathways (b).

효과가 있었다. 또한, 아무것도 첨가하지 않은 대조군과 비교하였을 때, sucrose와 구연산 칼륨을 동시에 처리한 군(PS)에서 최대 3배 이상 산도를 높일 수 있어 종래의 동치미보다 산도를 높이는데 탁월하였다. 이러한 동치미의 유기산 함량을 분석한 결과 발효 15일차에서 구연산 칼륨 첨가 유무에 따른 함량 차이가 약 3.7배 이상 높게 나타났다. 이는 pH 완충 효과로 인한 미생물 대사 활동의 억제를 막을 수 있었기 때문으로 사료된다. 추가로 유리당 분석 결과에서도 역시 구연산 칼륨을 넣은 그룹에서 대사가 비교적 더 활발할 것으로 추정되는 결과를 얻었다. 본 연구 결과는 동치미 및 동치미 활용 식품산업에서 속성으로 고산도의 발효 동치미를 만드는 제조 방법으로 사용될 수 있으며, 품질에 미치는 영향은 동치미 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 세계김치연구소 기관 고유사업(KE2302-1)과 농림축산식품부 농림식품기술기획평가원의 고부가가치식품 기술사업(321049-5)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Adamberg K, Kask S, Laht TM, Paalme T. 2003. The effect of temperature and pH on the growth of lactic acid bacteria: a pH-auxostat study. *Int. J. Food Microbiol.* 85: 171-183.
- Ahn GJ. 2006. The changes of hardness and microstructure of dongchimi according to different kinds of sugar. *Culi Sci Hos Res.* 12: 299-319.
- Ann YG. 2001. Dongchimi fermentation for naengmyeon-Changes of chemical property during fermentation. *Korean J. Food Nutr.* 14: 145-149.
- Chang JY, Chang HC. 2010. Improvements in the quality and shelf life of kimchi by fermentation with the induced bacteriocin-producing strain, *Leuconostoc citreum* GJ7 as a starter. *J. Food Sci.* 75: M103-M110.
- Chang SK, Ko SN, Choi HS, Kim JG, Kim WJ. 1996. Effect of fermentation temperature and salt concentration on the fermentation rate of dongchimi. *Appl. Biol. Chem.* 39: 398-402.
- Chaturvedi V, Wong B, Newman SL. 1996. Oxidative killing of *Cryptococcus neoformans* by human neutrophils. Evidence that fungal mannitol protects by scavenging reactive oxygen intermediates. *J. Immunol.* 156: 3836-3840.
- Cheigh HS, Park KY, Lee C. 1994. Biochemical, microbiological, and nutritional aspects of kimchi (Korean fermented vegetable products). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34: 175-203.
- Cho JH, Lee SJ, Choi JJ, Chung CH. 2015. Chemical and sensory profiles of dongchimi (Korean watery radish kimchi) liquids based on descriptive and chemical analyses. *Food Sci. Biotechnol.* 24: 497-506.
- Choi JJ, Park YR, Chung CH. 2014. Quality characteristics of snack with added dongchimi powder. *J. East Asian Soc. Diet. Life.* 24: 819-826.
- Choi MS, Kim DM, Oh KH. 2015. Studies on the enhanced physiological activities of mixed lactic acid bacteria isolated from fermented watery kimchi, Dongchimi. *KSBB J.* 30: 245-252.
- Chun YG, Park CE, Seo TR, Park DJ, Kim BK. 2020. Preparation of easily chewable and swallowable texture-modified Dongchimi. *Food Sci. Biotechnol.* 29: 651-655.
- Chyun JH, Lee HS. 1976. Studies on the volatile fatty acids and carbon dioxide produced in different kimchis. *Korean J. Food Sci. Technol.* 8: 90-94.
- Dols M, Chraïbi W, Remaud-Simeon M, Lindley ND, Monsan PF. 1997. Growth and energetics of *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1299 during metabolism of various sugars and their consequences for dextransucrase production. *Appl. Environ. Microbiol.* 21: 59-65.
- Huang C, Wu H, Liu ZJ, Cai J, Lou WY, Zong MH. 2012. Effect of organic acids on the growth and lipid accumulation of oleaginous yeast *Trichosporon fermentans*. *Biotechnol. Biofuels* 5: 1-12.
- Huh YJ, Cho YJ, Kim JK, Park KH. 2003. Effects of radish root cultivars on the dongchimi fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 7-14.
- Jang GJ, Kim DW, Gu EJ, Song SH, Lee JI, Lee SB, Kim JH, Ham KS, Kim HJ. 2015. GC/MS-based metabolomic analysis of the radish water kimchi, Dongchimi, with different salts. *Food Sci. Biotechnol.* 24: 1967-1972.
- Jeong CH, Ko HI, Kim TW. 2021. Development of Edible Medium for Kimchi Starter, and Application of Kimchi Fermentation Control. *Curr. Top. Lact. Acid Bact. Probiotics.* 7: 53-59.
- Jeong SH, Jung JY, Lee SH, Jin HM, Jeon CO. 2013. Microbial succession and metabolite changes during fermentation of dongchimi, traditional Korean watery kimchi. *Int. J. Food Microbiol.* 164: 46-53.
- Jiang FG, Cheng HJ, Liu D, Wei C, An WJ, Wang YF, Sun HT, Song EL. 2020. Treatment of whole-plant corn silage with lactic acid bacteria and organic acid enhances quality by elevating acid content, reducing pH, and inhibiting undesirable microorganisms. *Front. Microbiol.* 11: 593088.
- Kang KO, Ku KH, Lee JK, Kim WJ. 1991. Changes in physical properties of dongchimi during fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23: 262-266.
- Kim HM, Park JH, Choi IS, Wi SG, Ha S, Chun HH, Hwang IM, Jang JY, Choi HJ, Kim JC, Park HW. 2018. Effective approach to organic acid production from agricultural kimchi cabbage waste and its potential application. *PloS One* 13: e0207801.
- Kim HR, Jang MS. 2005. A study on the quality of Naengmyon Broth -Sensory and Microbiological properties by fermentation and addition of Dongchimi. *Korean J. Food Cookery Sci.* 21: 1-11.
- Kim IK, Shin SR, Lee JB, Kim KS. 1997. Changes on the physical and sensory characteristics of Dongchimi added with ginseng and pineneedle. *J Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 575-581.
- Kim JY, Kim BS, Kim JH, Oh SI, Koo J. 2020. Development of dynamic model for real-time monitoring of ripening changes of kimchi during distribution. *Foods* 9: 1075.
- Kim KO, Kim WH. 1994. Changes in properties of Kimchi pre-

- pared with different kinds and levels of salted and fermented seafoods during fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26: 324-330.
- Ko EJ, Hur SS, Park M, Choi YH. 1995. Studies on the optimum fermenting conditions of dongchimi for production of ion beverage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 24: 141-146.
- Lee MR, Lee HS. 1990. A study on the flavor compounds of dongchimi. *Korean J. Food Cookery Sci.* 6: 1-8.
- Leslie SB, Israeli E, Lighthart B, Crowe JH, Crowe LM. 1995. Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 3592-3597.
- McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. 1991. *The biochemistry of silage.* Chalcombe publications, Bucks, UK.
- Noh JS, Kim JH, Lee MJ, Kim MH, Song YO. 2008. Development of auto-aging system for the kimchi refrigerator for optimal fermentation and storage of dongchimi. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40: 661-668.
- Park JD. 2012. Research trends and industrial application of Dongchimi. *Bullet. Food Technol.* 25: 164-169.
- Park SJ, Chang JH, Cha SK, Moon GS. 2008. Microbiological analysis of dongchimi, Korean watery radish kimchi, at the early and mid-phase fermentation. *Food Sci. Biotechnol.* 17: 892-894.
- Seo WT, Kim HG, Lee JS, Cho KM. 2011. Making of dongchimi naengmyeon broth which has enhanced antioxidant activity using purple sweet potato. *Korean J. Microbiol.* 47: 143-150.
- Shim SM, Kim JY, Lee SM, Park JB, Oh SK, Kim YS. 2012. Profiling of fermentative metabolites in kimchi: Volatile and non-volatile organic acids. *J. Appl. Biol. Chem.* 55: 463-469.
- Tae WT. 2008. Mass, quick fermented radish kimchi and powdering method of the same. Korea patent NO. 10-20008-0083342.
- Zannini E, Waters DM, Coffey A, Arendt EK. 2016. Production, properties, and industrial food application of lactic acid bacteria-derived exopolysaccharides. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 100: 1121-1135.

Author Information

- 임주영:** 한국식품연구원 부설 세계김치연구소, 경희대학교 식품영양학과
- 최윤정:** 한국식품연구원 부설 세계김치연구소
- 김예솔:** 한국식품연구원 부설 세계김치연구소, 조선대학교 식품영양학과
- 이미애:** 한국식품연구원 부설 세계김치연구소
- 민승기:** 한국식품연구원 부설 세계김치연구소