



저염 Sauerkraut (fermented cabbage)의 미생물 및 이화학적 품질 특성

지혜인 · 김경희*
덕성여자대학교 식품영양학과

Microbiological and Physicochemical Quality Characteristics of Low-salted Sauerkraut (fermented cabbage)

Hye-In Ji, Kyung-Hee Kim*
Department of Food and Nutrition, Duksung Women's University

Abstract

This study investigated the minimum salt concentration required for achieving the optimal quality characteristics of sauerkrauts made by adding 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5% (w/w) of sea salt to cabbage according to the fermentation period. For evaluating the quality characteristics, we measured the microorganisms (lactic acid bacteria, yeast, and coliform group), pH, total acidity, salinity, chromaticity, and hardness every 24 hours. The lactic acid bacteria were identified and analyzed, and acceptance test was carried out on the 4th day of fermentation. The results showed that the salinity of 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0% sauerkrauts on the 4th day of fermentation was lower than the average salinity of *Baechu-Kimchi*. The 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0% sauerkrauts had significantly higher lactic acid bacteria than the 2.5% sample, and the coliform group was not detected after the 5th day of fermentation. Among the microbes identified, *Weissella cibaria* JCM 12495 was found only in domestic sauerkraut, in addition to *Lactococcus lactis* NCDO 604, *Leuconostoc citreum* JCM 9698, and *Lactobacillus sakei* DSM 20017. The results of the acceptance test show that 1.0 and 1.5% sea salt sauerkraut had significantly higher overall acceptance compared to the other samples. In conclusion, sauerkraut with a salt concentration of 1.0 and 1.5% (w/w) had abundant lactic acid bacteria and excellent sensory properties, suggesting that the production of low-salted sauerkraut can be adopted to reduce consumer salt intake in the future.

Key Words : Sauerkraut, low-salted, quality characteristics, identification, acceptance test

1. 서 론

최근 전 세계적인 Covid-19 감염증으로 인하여 면역에 대한 중요성이 증가하고 있다(Park et al. 2016a; Kim et al. 2018; Mishra & Patel 2020). 전통발효식품은 프로바이오틱스 공급원으로 인체에 유익한 작용을 하며(Shin 2020), 대표적으로 우리나라의 김치, 독일의 Sauerkraut 등이 있다(Fadhil et al. 2019). 현재 미국 타임지가 선정한 서양의 3대 장수식품 중 하나로 소개된 양배추(National Institute of Agricultural Sciences 2021)와 함께 잠재적인 면역조절 효과가 있는 Sauerkraut에 대한 관심이 증가하고 있다(Zubaidah et al. 2020a). 최근 2년간 국내 유튜브를 중심으로 가정에서 손쉽게 만들어 먹을 수 있는 유산균 발효식품으로 Sauerkraut를 소개 및 제조 방법을 보여주는 동영상 133건에 달하였으며, 이는 2018년부터 2019년까지의 27건에 비해 4.9배 이상 증가하였고, 조회수도 최고 112만 회를 기록하여 국내 가

정에서 Sauerkraut에 대한 관심 및 섭취율이 증가하고 있음을 알 수 있다(YouTube 2020).

Sauerkraut (사우어크라우트)는 독일어 ‘sauer (신맛)’와 ‘kraut (양배추)’의 합성어로 ‘신맛이 나는 양배추’를 뜻하며, 양배추를 발효시킨 독일의 전통 발효식품으로(Thakur et al. 2020) 오랫동안 중부 및 동유럽에서 널리 소비되고 있다(Hallmann et al. 2017). 혐기적 조건에서 양배추에 적당량의 소금을 첨가하여 제조하면 양배추 잎의 착생 미생물에 의해 자연 발효가 진행된다(Zubaidah et al. 2020b). 따라서, Sauerkraut의 품질은 착생 미생물의 종류와 발효 조건에 따라 크게 달라진다(Satora et al. 2021). 이때 발효 과정의 유산균들은 유기산, 비타민, 페놀 화합물, sulforaphane, glucosinolates와 박테리옌 등을 생성시켜 항산화(Satora et al. 2021), 항암(Lavefve et al. 2019), 항염증(Romeo et al. 2018), 항비만(Lavefve et al. 2019)과 DNA 손상 방지(Kusznierewicz et al. 2010) 등의 효과가 있다.

*Corresponding author: Kyung-Hee Kim, Department of Food and Nutrition, Duksung Women's University, 33 Samyang-ro 144-gil, Dobong-gu, Seoul, Korea Tel: +82-2-901-8591 Fax: +82-2-901-8372 E-mail: khkim@duksung.ac.kr

한편, 제조 시 첨가되는 소금은 삼투작용을 통해 양배추의 수분을 용출시키고 이를 유산균의 기질로 작용하여 유산균이 성장한다(Zubaidah et al. 2020b). 생성된 산은 유해한 미생물의 성장을 저해하고, 양배추 식감을 무르게 하는 효소의 작용을 지연시키는 작용을 한다(Yang et al. 2020). 그러나 염농도가 너무 높을 경우에는 유익한 유산균의 성장이 저해되고(Zubaidah et al. 2020b), 반대로 염농도가 너무 낮을 경우에는 병원성 미생물의 성장을 저해할 수 없어 부패(Zubaidah et al. 2020b)와 연부현상(Park et al. 2016b)이 일어날 수 있다. 따라서 Sauerkraut 제조 시에 적당량의 소금을 첨가하는 것이 중요하다.

최근 전 세계적으로 과도한 소금 섭취로 인해 고혈압과 심장질환이 문제가 되면서 WHO는 2025년까지 소금 섭취량의 30% 감소를 권고하였고, 소비자의 저염 식품 요구도 증가하고 있다(WHO 2012). 이에 발효식품의 소금 함량을 줄이기 위해 대체염을 사용하거나 유산균 스타터를 첨가하기도 하지만 이는 조직을 무르게 하여 품질을 떨어뜨린다(Moon et al. 2014). 따라서, 최소한의 소금을 첨가하지만 품질 특성이 우수하고 안전한 Sauerkraut의 생산이 요구되고 있다.

현재까지 국내 Sauerkraut의 선행연구로는 *Leuconostoc* 스타터 및 당류 첨가에 의한 Sauerkraut 발효 중 isomaltoligosaccharides의 단순 합성에 관한 연구(Cho et al. 2015), Sauerkraut 발효 중 *Leuconostoc* 개체군 모니터링에 관한 연구(Kim et al. 2011) 총 2편으로 거의 없고, 국외에서는 다양한 미생물을 이용한 발효 양배추의 옥살산염 및 총산에 대한 염화나트륨 농도 및 배양시간의 영향에 관한 연구(Srihardyastuti et al. 2021), 소금 농도가 낮은 발효에서 *Lactobacillus plantarum* 및 *Leuconostoc mesenteroides* 스타터 배양이 Sauerkraut 품질에 미치는 영향에 관한 연구(Zubaidah et al. 2020b), 양배추 발효에서 염화칼륨 대체염의 영향에 관한 연구(Monteiro 2020), Chinese northeast sauerkraut의 자연 발효 중 미생물 군집, 물리 화학적 특성 및 대사 산물 프로파일에 대한 염농도의 영향에 관한 연구(Yang et al. 2020), 양파 또는 캐러웨이가 Sauerkraut 발효 및 냉장 보관 중 바이오제닉 아민 형성에 미치는 영향에 관한 연구(Majcherczyk & Surówka 2019)로 대부분 Sauerkraut 제조 시 2.5% 이상의 소금, 대체염, 스타터 및 향신료를 첨가하였으며 2.5% 미만의 소금을 첨가하더라도 양배추가 아닌 배추로 제조한 Chinese Sauerkraut에 관한 연구로 2.5% 미만의 소금을 첨가하여 제조한 Sauerkraut의 품질 특성에 관한 논문은 미비한 실정이다.

따라서, 국내산 양배추를 이용한 저염 Sauerkraut의 품질 특성에 관한 연구가 필요하며, 특히 대체염, 스타터 및 향신료를 첨가하지 않고 자연 발효하였을 때의 미생물 군집, 이화학적 및 관능적 특성에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 국내산 양배추에 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5% (w/w)의 천

일염을 첨가하여 Sauerkraut를 제조 후 이화학적 품질 특성, 유산균 군집 및 기호도 검사를 진행하여 우리나라 저염 Sauerkraut 제조 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서 사용된 양배추(*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)는 무농약 양배추(Yeju-si, Kyunggi-do, Korea)로 천일염(Beksul; CJ Cheiljedang, Korea)과 함께 창동 소재의 농협에서 구입하였다. Sauerkraut 발효에 사용된 용기는 1.3 L 인 터락 발효용기(INL 412, LocknLock, Korea)를 사용하였다.

2. Sauerkraut 제조

Yang et al. (2020) 연구의 Sauerkraut 제조 방법을 수정하여 사용하였으며, 제조 과정은 <Figure 1>과 같다. 양배추를 길이 5 cm, 두께 0.5 cm로 채썰어 각 볼에 넣고 양배추 무게의 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5% (w/w)의 소금과 각 농도의 소금물 100 mL를 넣고 시료 국물의 최종 염도가 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5%가 되도록 총 30분간 주물렀다. 완성된 시료를 용기에 넣은 후 누름판으로 누르고 완전히 밀봉하여 20°C의 저온 배양기(J-IB02, JISICO, Korea)에서 7일간 발효시켰다. 소금 농도별 시료를 발효 0일부터 7일까지 24시간마다 샘플링하여 실험에 사용하였고 3번 반복 제조하였다.

3. pH 및 총 산도(total acidity)

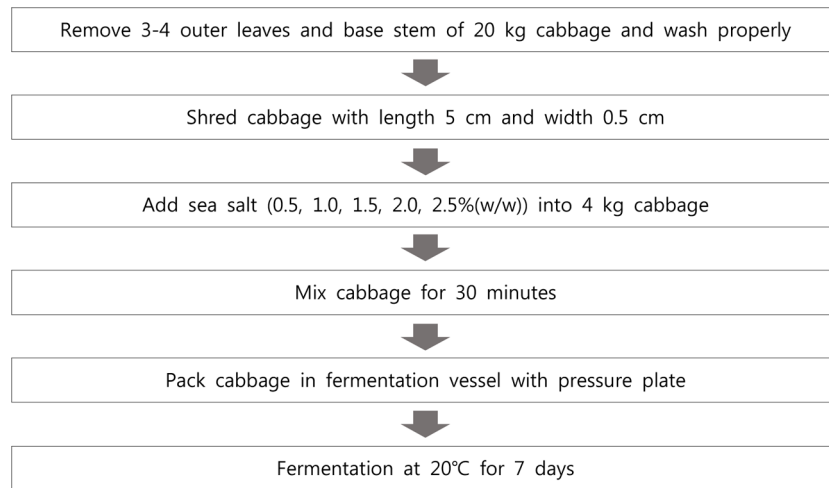
pH 및 총 산도는 각 소금 농도별 100 g의 시료를 믹서기(MCH-308, SK Magic, Korea)로 1분간 마쇄 후 여과하여 사용하였다. pH meter (HI 5221, HANNA, USA)를 사용하여 측정하였고, 산도적정기(SG.285225830, SI Analytics, Germany)로 pH 8.3이 될 때까지 소비된 0.1 N NaOH(Daejung, Korea)(mL)를 측정하여 젯산 함량(%)으로 표시하였다. 각 시료 당 10회 반복 측정하였다.

4. 염도(salinity)

염도는 각 소금 농도별 1 mL의 시료 국물을 멸균적으로 취하여 디지털 염도계(GMK-525N, G-won Hitech Co, Ltd., Korea)로 측정하였다. 각 시료 당 10회 반복 측정하였다.

5. 색도(chromaticity)

색도는 각 소금 농도별 시료를 취하여 색차계(Colorimeter, Minolta CR-400, Japan)로 명도(*L*-value, darkness to lightness), 적색도(*a*-value, greenness to redness), 황색도(*b*-value, blueness to yellowness)를 측정하였다. 각 시료 당 10회 반복 측정하였다. 시료 측정 전에 사용한 표준 백색판(standard plate)의 *L*값은 92.49, *a*값은 -0.35, *b*값은 3.70이다.



<Figure 1> Preparation of Sauerkraut

6. 경도(hardness)

경도는 각 소금 농도별 시료를 취하여 물성분석기(LLOYD instrument, Ametek Inc, UK)를 사용하여 측정하였다. 각 시료 당 12회 반복 측정하였으며 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 나머지 값을 분석에 사용하였다. 이때의 분석 조건은 probe 5.0 mm, pre-test speed 1.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, distance 10.0 mm, trigger force 3.0 N으로 하였다.

7. 미생물 균집

유산균(lactic acid bacteria), 효모(yeast)와 대장균군(coliform group)은 멸균적으로 취한 1 mL의 시료 국물과 9 mL의 0.1% 멸균 펩톤수를 10진 희석법에 따라 단계별로 희석한 후 유산균은 MRS agar (BD Difco Lab., USA)에 37°C에서 48시간, 효모는 PD agar (BD Difco Lab., USA)에 27°C에서 48시간, 대장균군은 VRB agar (BD Difco Lab., USA)에 35°C에서 24시간 배양하여 colony 수가 30-300개인 평균 12개를 선택하여 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 나머지 값을 log CFU/mL로 나타내었다.

8. 분리 균주의 특성조사 및 동정

1) 분리 균주의 특성조사

균주의 분리는 발효 4일의 Sauerkraut를 단계적으로 희석한 후 MRS agar에 37°C에서 24시간 배양하여 유백색의 colony를 크게 형성하는 균락 중 1차적으로 10개의 colony를 선별하였다. 선별한 colony를 3회 계대 배양하여 높은 활성의 colony를 순수분리한 후 형태학적 조사, catalase test와 49종의 탄수화물 이용성을 조사하였다.

2) 분리 균주의 동정

16S rRNA gene 분석을 통한 유전학적 동정을 실시하였다. 분리 균주의 콜로니 샘플에서 genomic DNA를 추출한 후

PCR (Applied Biosystems, USA)을 진행하여 마크로젠(Macrogen, Korea)에 DNA sequencing을 분석되하였다. 염기서열의 상동성이 97% 이상일 때 하나의 종으로 정의하였다.

9. 기호도 검사(acceptance test)

식품영양학과 학부 및 대학원생 31명을 패널로 선정하여 기호도 검사를 실시하였다. 기호도 검사를 실시하기 전 패널들을 대상으로 검사의 목적, 용어 및 평가 기준에 대해 충분히 설명한 후 평가하였다. 20°C에서 발효 중인 4일째 소금 농도별 Sauerkraut 시료를 4°C 저온 인큐베이터에서 1시간 보관한 후 25 g의 건더기와 5g의 국물을 섞어 세 자리 난수가 표시된 흰색 원형의 용기에 담아 차갑게 제공하였으며, 순서는 패널마다 무작위로 제공하였다. 평가하는 동안 미각의 둔화를 억제하기 위해 시료 사이에 생수와 식빵으로 입안을 헹구도록 하였다. 항목은 외관 기호도, 냄새 기호도, 맛 기호도, 조직감 기호도, 전반적인 기호도이며, 7점 척도법(7점, 매우 좋음; 5점, 보통; 1점, 매우 싫음)을 사용하여 점수를 부여하도록 하였다. 본 기호도 검사는 덕성여자대학교 생명윤리위원회의 승인을 받아 실시하였다[Approval Number: 2021-001-002-A].

10. 통계 분석

통계 분석은 SPSS 25.0 statistics (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하였다. 실험 결과는 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었으며, 시료 간 평균치 차이 유무와 유의성을 검증하기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고 소금 농도와 발효기간에 따른 pH, 총 산도, 염도, 색도, 경도, 기호도 검사 결과를 분석하였다. 시료 간 차이 검증은 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 사용하였으며, 가설검증수준은 p<0.05로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. pH, 총 산도(total acidity) 및 염도(salinity)

소금의 농도를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0과 2.5%로 달리하여 제조한 Sauerkraut의 발효기간(0-7 days)에 따른 pH, 총 산도와 염도를 <Table 1>에 나타내었다. pH는 발효 4일에 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 pH 4.11, 4.08, 4.09, 4.14, 4.16으로 측정되어 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 독일의 Sauerkraut 제조 규격인 pH 4.1 이하에 부합하였다(Montaño et al. 2016). 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 발효 0일 pH 6.26, 6.23, 6.08, 6.03, 6.01에서 발효 4일 pH 4.11, 4.08, 4.09, 4.14, 4.16으로 가파르게 감소하였는데(p<0.001) 이는 발효 초기에 존재하는 이상발효유산균의 성장에 의해 젖산이 생성되어 pH가 감소된 것으로 보고되었다(Yang et al. 2020).

총 산도는 발효 초기에 소금 농도 간 차이가 크지 않았지만 발효 4일에 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 총 산도 0.75, 0.73, 0.69, 0.59, 0.48%로 소금 농도가 낮을수록 유의적으로 높게 나타났다(p<0.001). Mheen & Kwon (1984)의 연구에서 소금의 농도가 낮을수록 산 생성이 빠르다고 하여 본 연구 결과와 일치하였다. 이는 고염에서 유산균의 성장이 지연되어 산 생성이 억제된 것으로 보고되었다(Kim et al. 2005). Lee & Yang (1970)은 일반적인 김치의 최적 산도가 0.4-0.75%이며 1%가 넘으면 과숙된 것으로 보고하였는데 본 연구의 발효 4일째 Sauerkraut는 총 산도 0.48-0.75%로 최적의 산 함량을 포함하고 있음을 알 수 있다.

염도는 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 발효 4일에 0.84, 1.21, 1.57, 1.94, 2.31%로 독일의 Sauerkraut 제조 규격인 염도 0.7-3.0%에 부합하였고(Montaño et al. 2016), 0.5, 1.0, 1.5

<Table 1> pH, total acidity, and salinity of Sauerkraut by salt concentration according to fermentation period

	Days	Salt Concentration (%)					F-value
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
pH	0	6.26±0.02 ^{aB1)2)}	6.23±0.02 ^{bA}	6.08±0.07 ^{cB}	6.03±0.06 ^{dB}	6.01±0.06 ^{eB}	152.24 ^{***3)}
	1	6.34±0.04 ^{aA}	5.92±0.06 ^{dB}	6.27±0.06 ^{bA}	6.22±0.02 ^{cA}	6.21±0.04 ^{aA}	368.65 ^{***}
	2	5.25±0.03 ^{aC}	4.45±0.08 ^{cC}	4.44±0.05 ^{cC}	4.53±0.07 ^{bC}	4.55±0.02 ^{bC}	1,208.52 ^{***}
	3	4.42±0.03 ^{aD}	4.17±0.05 ^{eD}	4.21±0.07 ^{dD}	4.24±0.04 ^{cD}	4.32±0.05 ^{bD}	122.05 ^{***}
	4	4.11±0.01 ^{cE}	4.08±0.03 ^{dE}	4.09±0.03 ^{cdE}	4.14±0.06 ^{bE}	4.16±0.06 ^{eE}	17.42 ^{***}
	5	4.02±0.01 ^{cF}	4.03±0.01 ^{cf}	4.05±0.01 ^{bf}	4.05±0.01 ^{bf}	4.08±0.05 ^{aF}	35.29 ^{***}
	6	4.01±0.00 ^{dG}	3.99±0.03 ^{eG}	4.04±0.01 ^{cF}	4.05±0.01 ^{bf}	4.06±0.01 ^{aG}	90.69 ^{***}
	7	4.00±0.01 ^{cH}	4.00±0.01 ^{ch}	4.04±0.02 ^{bf}	4.04±0.01 ^{abF}	4.04±0.01 ^{aG}	62.64 ^{***}
	F-value	59,652.92 ^{***}	13,335.23 ^{***}	13,120.36 ^{***}	13,660.95 ^{***}	13,677.70 ^{***}	
Total acidity (%)	0	0.12±0.00 ^{aG}	0.12±0.00 ^{bG}	0.12±0.00 ^{cG}	0.11±0.00 ^{dG}	0.10±0.01 ^{eG}	112.37 ^{***}
	1	0.11±0.00 ^{bH}	0.12±0.02 ^{aH}	0.11±0.01 ^{abH}	0.11±0.00 ^{bG}	0.10±0.02 ^{cG}	10.86 ^{***}
	2	0.28±0.01 ^{dF}	0.32±0.01 ^{bF}	0.37±0.01 ^{aF}	0.28±0.01 ^{cF}	0.26±0.01 ^{eF}	727.09 ^{***}
	3	0.50±0.01 ^{cE}	0.55±0.01 ^{aE}	0.51±0.01 ^{bE}	0.42±0.01 ^{dE}	0.39±0.01 ^{eE}	1,835.19 ^{***}
	4	0.75±0.00 ^{aD}	0.73±0.00 ^{bD}	0.69±0.01 ^{cd}	0.59±0.01 ^{dD}	0.48±0.01 ^{eD}	7,829.12 ^{***}
	5	0.89±0.01 ^{aC}	0.79±0.01 ^{bC}	0.73±0.00 ^{cC}	0.66±0.01 ^{dC}	0.58±0.01 ^{eC}	5,040.37 ^{***}
	6	0.92±0.01 ^{aB}	0.83±0.01 ^{bB}	0.76±0.00 ^{cB}	0.67±0.01 ^{dB}	0.65±0.01 ^{eB}	4,586.42 ^{***}
	7	0.97±0.01 ^{aA}	0.85±0.01 ^{bA}	0.78±0.01 ^{cA}	0.72±0.01 ^{dA}	0.69±0.01 ^{eA}	4,542.01 ^{***}
	F-value	61,803.78 ^{***}	27,359.98 ^{***}	52,987.15 ^{***}	27,147.77 ^{***}	18,689.58 ^{***}	
Salinity (%)	0	1.55±0.06 ^{aA}	2.21±0.04 ^{dA}	2.92±0.03 ^{cA}	3.50±0.03 ^{bA}	4.03±0.02 ^{aA}	18,565.05 ^{***}
	1	1.42±0.02 ^{bB}	1.93±0.02 ^{dB}	2.35±0.04 ^{cB}	2.78±0.04 ^{bB}	3.45±0.02 ^{aB}	21,261.78 ^{***}
	2	1.21±0.03 ^{cC}	1.63±0.03 ^{dC}	2.07±0.01 ^{cC}	2.41±0.02 ^{bC}	2.97±0.02 ^{aC}	26,426.79 ^{***}
	3	0.89±0.05 ^{dD}	1.35±0.05 ^{dD}	1.65±0.02 ^{cD}	2.03±0.04 ^{bD}	2.32±0.03 ^{aD}	6,028.27 ^{***}
	4	0.84±0.01 ^{eE}	1.21±0.04 ^{dE}	1.57±0.04 ^{eE}	1.94±0.05 ^{bE}	2.31±0.02 ^{aD}	7,672.40 ^{***}
	5	0.83±0.01 ^{eE}	1.16±0.01 ^{dF}	1.54±0.01 ^{cF}	1.85±0.02 ^{bf}	2.30±0.01 ^{aE}	56,686.18 ^{***}
	6	0.78±0.02 ^{fF}	1.14±0.01 ^{dG}	1.52±0.02 ^{cG}	1.83±0.01 ^{bG}	2.29±0.02 ^{aF}	37,740.03 ^{***}
	7	0.75±0.02 ^{cG}	1.11±0.02 ^{dH}	1.52±0.02 ^{cG}	1.81±0.01 ^{bH}	2.27±0.01 ^{aG}	34,709.66 ^{***}
	F-value	2,894.51 ^{***}	5,730.02 ^{***}	10,774.44 ^{***}	10,323.25 ^{***}	32,302.12 ^{***}	

1) Mean±SD

2) Different letters in the same row (a-e) and column (A-H) are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

3) ***p<0.001

와 2.0%의 Sauerkraut가 우리나라에서 주로 섭취하는 배추 김치의 평균 염도인 2.17-2.65% (Nam et al. 2017)보다 낮았다. 또한 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 발효 0일 염도 1.55, 2.21, 2.92, 3.50, 4.03%에서 발효 4일 0.84, 1.21, 1.57, 1.94, 2.31%로 가파르게 염도가 감소하였는데(p<0.001) 이는 발효기간이 증가함에 따라 삼투압의 작용으로 양배추 조직의 수분이 빠져나온 것으로 보고되었다(Yang et al. 2020).

2. 색도(chromaticity)

소금 농도 및 발효기간에 따른 Sauerkraut의 색도를 <Table 2>에 나타내었다. 명도를 나타내는 L값은 발효 4일에 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 73.34, 72.88, 72.47, 72.51,

72.46으로 측정되어 소금 농도가 낮을수록 L값이 유의적으로 높아(p<0.001) Kim & Lee (2019)의 저염오이지 연구 결과와 유사하였다. 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 발효 0일 L값이 81.32, 80.77, 80.40, 80.46, 80.45에서 발효 4일 73.34, 72.88, 72.47, 72.51, 72.46으로 가파르게 감소하여(p<0.001) Park et al. (2010)의 연근즙을 첨가한 백김치 연구 결과와 유사하였다. 이는 Sauerkraut 발효과정 중 용출된 부유물질과 고형분의 분해로 인해 밝기가 감소한 것으로 보고되었다(Kang et al. 1997). 적색도를 나타내는 a값은 발효 1일에 0.5%의 Sauerkraut가 -1.58로 유의적으로 높게 나타났으며(p<0.01), 발효 4일에 0.5, 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 각각 -1.67, -1.68, -1.69로 유의적으로 가장 높았지만(p<0.001)

<Table 2> Hunter's color value of Sauerkraut by salt concentration according to fermentation period

Days	Salt Concentration (%)					F-value	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5		
L	0	81.32±0.08 ^{aA1)2)}	80.77±0.06 ^{bA}	80.40±0.14 ^{dA}	80.46±0.09 ^{cA}	80.45±0.10 ^{cdA}	450.29*** ³⁾
	1	80.53±0.06 ^{aB}	80.42±0.05 ^{bB}	80.17±0.13 ^{cB}	79.37±0.06 ^{dB}	78.87±0.08 ^{eB}	2,254.65***
	2	77.38±0.13 ^{aC}	76.53±0.09 ^{bC}	75.92±0.06 ^{cC}	75.48±0.10 ^{dC}	75.48±0.08 ^{dC}	2,142.46***
	3	74.77±0.14 ^{aD}	74.49±0.11 ^{bD}	73.89±0.05 ^{dD}	73.53±0.11 ^{dD}	73.45±0.10 ^{dD}	892.37***
	4	73.34±0.05 ^{aE}	72.88±0.10 ^{bE}	72.47±0.12 ^{cdE}	72.51±0.13 ^{cE}	72.46±0.09 ^{dE}	426.34***
	5	72.34±0.13 ^{aF}	72.32±0.05 ^{aF}	71.96±0.07 ^{bF}	71.50±0.08 ^{cF}	71.51±0.04 ^{cF}	774.67***
	6	71.44±0.03 ^{aG}	71.39±0.06 ^{bG}	71.35±0.04 ^{cG}	70.87±0.05 ^{dG}	70.38±0.07 ^{eG}	2,341.07***
	7	70.43±0.04 ^{cH}	70.92±0.05 ^{aH}	70.65±0.04 ^{bH}	70.39±0.06 ^{dH}	69.94±0.05 ^{eH}	1,548.56***
F-value	57,421.50***	79,108.76***	52,797.74***	58,369.41***	72,283.62***		
a	0	-1.51±0.05 ^A	-1.50±0.06 ^A	-1.51±0.06 ^A	-1.51±0.07 ^A	-1.48±0.06 ^A	1.87 ^{NS4)}
	1	-1.58±0.10 ^{aB}	-1.64±0.07 ^{bB}	-1.62±0.07 ^{bB}	-1.65±0.04 ^{bB}	-1.61±0.06 ^{bB}	5.25**
	2	-1.65±0.03 ^{aC}	-1.71±0.04 ^{bcC}	-1.69±0.07 ^{bCD}	-1.73±0.07 ^{cC}	-1.66±0.04 ^{aC}	12.92***
	3	-1.68±0.04 ^{aD}	-1.69±0.04 ^{aC}	-1.72±0.03 ^{bD}	-1.73±0.06 ^{bC}	-1.72±0.09 ^{bDE}	4.19**
	4	-1.67±0.04 ^{aCD}	-1.68±0.05 ^{abC}	-1.69±0.04 ^{abC}	-1.73±0.05 ^{cC}	-1.70±0.04 ^{bD}	9.10***
	5	-1.74±0.07 ^{bcE}	-1.68±0.05 ^{aC}	-1.68±0.05 ^{cC}	-1.76±0.06 ^{cD}	-1.73±0.05 ^{bE}	11.33***
	6	-1.72±0.05 ^{aE}	-1.70±0.05 ^{aC}	-1.76±0.09 ^{bE}	-1.75±0.03 ^{bCD}	-1.76±0.04 ^{bF}	6.70***
	7	-1.71±0.03 ^{aE}	-1.70±0.03 ^{aC}	-1.72±0.04 ^{dD}	-1.75±0.03 ^{bCD}	-1.75±0.03 ^{bEF}	11.15***
F-value	56.65***	56.29***	53.65***	81.43***	88.45***		
b	0	7.60±0.04 ^{bG}	7.66±0.05 ^{aG}	7.64±0.07 ^{abG}	7.64±0.10 ^{abG}	7.62±0.05 ^{bH}	3.17*
	1	8.77±0.09 ^{aF}	8.74±0.08 ^{aF}	8.59±0.09 ^{cF}	8.69±0.09 ^{bF}	8.76±0.05 ^{aG}	24.70***
	2	9.46±0.18 ^{dE}	9.44±0.06 ^{dE}	9.81±0.07 ^{cE}	10.07±0.09 ^{bE}	10.18±0.04 ^{aF}	343.09***
	3	10.12±0.05 ^{cD}	10.27±0.06 ^{dD}	10.36±0.04 ^{cD}	10.32±0.08 ^{bD}	10.61±0.09 ^{aE}	203.58***
	4	10.37±0.18 ^{cC}	10.44±0.07 ^{dC}	10.64±0.13 ^{cC}	10.74±0.08 ^{bC}	10.84±0.03 ^{aD}	94.98***
	5	10.46±0.09 ^{dB}	10.54±0.07 ^{dB}	10.65±0.09 ^{cC}	11.40±0.07 ^{bB}	11.65±0.09 ^{aC}	1,286.59***
	6	10.52±0.05 ^{dA}	10.56±0.17 ^{dB}	10.84±0.07 ^{cB}	11.62±0.12 ^{bA}	11.96±0.08 ^{aB}	1,135.46***
	7	10.56±0.06 ^{eA}	10.67±0.06 ^{dA}	11.03±0.11 ^{cA}	11.63±0.06 ^{bA}	12.22±0.05 ^{aA}	2,777.40***
F-value	2,977.67***	5,000.32***	5,778.41***	8,010.45***	17,689.83***		

1) Mean±SD

2) Different letters in the same row (a-e) and column (A-H) are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

3) *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

4) NS Not significant

L: darkness to lightness, a: greenness to redness, b: blueness to yellowness.

소금 농도 간의 일관된 변화가 나타나지 않았다. 황색도를 나타내는 *b*값은 발효 4일에 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 10.37, 10.44, 10.64, 10.74, 10.84로 측정되어 소금 농도가 낮을수록 *b*값이 유의적으로 낮아($p < 0.001$) Kim & Lee (2019)의 저염오이지 연구 결과와 유사하였다. 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 발효 0일 *a*값이 -1.51, -1.50, -1.51, -1.51, -1.48에서 발효 7일 -1.71, -1.70, -1.72, -1.75, -1.75로 발효기간이 증가할수록 *a*값이 유의적으로 감소하였고($p < 0.001$), 발효 0일 *b*값이 7.60, 7.66, 7.64, 7.64, 7.62에서 발효 7일 10.56, 10.67, 11.03, 11.63, 12.22로 발효기간이 증가할수록 *b*값이 유의적으로 증가하였다($p < 0.001$). 이는 발효기간이 증가할수록 유산균에 의해 생성된 젖산으로 인해 산성이 되는데 이때 산에 불안정한 화합물인 chlorophyll이 pheophorbide와 pheophytin으로 쉽게 분해되어 녹색을 띠게 되므로 *a*값이 감소하고 *b*값이 증가하는 것으로 보고되었다(Gnanasekharan et al. 1992). 또한 Johanningsmeier et al. (2007)의 스타터 첨가한 저염 Sauerkraut 연구에서 *L*값은 63.0-66.7, *a*값은 -1.72에서 -1.44, *b*값은 19.1-21.1로 나와 본 연구 결과의 Sauerkraut가 더 밝고 녹색으로 변하지 않아 품질이 우수함을 알 수 있다.

3. 경도(hardness)

소금 농도 및 발효기간에 따른 Sauerkraut의 경도를 <Table 3>에 나타내었다. 발효 4일에 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 3.52, 3.51, 3.37, 3.29, 3.31 kgf로 측정되어 소금 농도가 낮을수록 경도가 유의적으로 높아($p < 0.001$) Kim & Lee (2019)의 저염오이지 연구 결과와 유사하였다. 이는 소금 첨가에 의한 삼투압 현상으로 인해 조직의 연부현상이 일어나는 것으로 보고한 연구와도 유사하다(Yang et al. 2020). 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 발효 0일 4.10, 4.04, 4.05, 3.84, 3.87 kgf에서 발효 4일 3.52, 3.51, 3.37, 3.29, 3.31 kgf로

발효기간이 증가할수록 경도가 유의적으로 감소하여($p < 0.001$) Yang et al. (2005)의 물김치 연구와 유사하였다. 이는 발효가 지속되는 동안 protopectinase, polygalacturonase, pectin methyl esterase 등의 효소 활성도가 증가하여 펙틴의 성상 변화가 가속화되어 경도가 감소하는 것으로 보고되었다(Lee & Rhee 1996).

4. 미생물 군집

소금 농도 및 발효기간에 따른 Sauerkraut의 유산균(lactic acid bacteria), 효모(yeast) 및 대장균군(coliform group)을 <Table 4>에 나타내었다. 유산균은 발효 전 기간에서 소금 농도가 낮을수록 유의적으로 높아($p < 0.001$) Yang et al. (2019)의 *Leuconostoc mesenteroides*와 *Lactobacillus plantarum*을 첨가한 Chinese northeast sauerkraut 연구 및 Xiong et al. (2016)의 소금 농도에 따른 Chinese sauerkraut 연구 결과와 유사하였다. 이는 발효 초기에 존재하는 이상발효유산균이 고염 환경에서 쉽게 저해되기 때문이다(Jeong 1999). 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 발효 0일에 유산균 3.65, 3.59, 3.53, 3.43, 3.36 log CFU/mL에서 발효 2일 8.89, 8.85, 8.54, 8.14, 7.94 log CFU/mL로 가장 높게 측정된 후 감소하여 발효 6일까지 7 log CFU/mL 이상을 유지하였다($p < 0.001$). Moon et al. (2019)의 포기김치 연구에서 발효 2일에 유산균은 8.08 log CFU/mL로 가장 높게 측정된 후 발효 6일에 6.89 log CFU/mL로 측정되어 본 연구의 Sauerkraut 유산균이 더 높게 측정되고 빠르게 사멸하지 않았음을 알 수 있다.

효모는 발효 0일을 제외한 기간에서 소금 농도가 낮을수록 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.001$), 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 발효 0일 5.64, 5.45, 5.43, 5.47, 5.47 log CFU/mL에서 발효 2일 8.89, 8.82, 8.49, 8.13, 7.97 log CFU/mL로 가장 높게 측정된 후 감소하여 발효 6일까지 7

<Table 3> Hardness of Sauerkraut by salt concentration according to fermentation period (Unit: kgf)

Days	Salt Concentration (%)					F-value
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
0	4.10±0.17 ^{aA1)2)}	4.04±0.09 ^{bA}	4.05±0.07 ^{abA}	3.84±0.08 ^{cA}	3.87±0.10 ^{cA}	36.15*** ³⁾
1	4.03±0.13 ^{aA}	3.83±0.09 ^{bB}	3.75±0.16 ^{cB}	3.63±0.08 ^{dB}	3.63±0.14 ^{dB}	52.69***
2	3.82±0.15 ^{aB}	3.75±0.12 ^{bC}	3.70±0.16 ^{bcB}	3.67±0.06 ^{cB}	3.53±0.09 ^{dC}	24.06***
3	3.67±0.15 ^{aC}	3.59±0.16 ^{bD}	3.57±0.17 ^{bcC}	3.54±0.13 ^{bcC}	3.37±0.06 ^{dD}	18.74***
4	3.52±0.16 ^{aD}	3.51±0.17 ^{aE}	3.37±0.16 ^{bD}	3.29±0.16 ^{bD}	3.31±0.17 ^{bD}	13.00***
5	3.31±0.11 ^{bE}	3.41±0.12 ^{aF}	3.19±0.16 ^{cE}	3.13±0.16 ^{cE}	2.99±0.13 ^{dE}	41.64***
6	3.21±0.17 ^{aF}	3.18±0.16 ^{aG}	3.09±0.15 ^{bF}	3.04±0.17 ^{bcF}	2.98±0.17 ^{cEF}	9.88***
7	3.08±0.16 ^{aG}	3.11±0.11 ^{aH}	2.97±0.17 ^{bG}	2.93±0.14 ^{bG}	2.91±0.15 ^{bF}	11.14***
F-value	190.71***	175.05***	177.13***	197.09***	209.89***	

1) Mean±SD

2) Different letters in the same row (superscript) and column (superscript) are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

3) *** $p < 0.001$

<Table 4> Microorganisms of Sauerkraut by salt concentration according to fermentation period (Unit: log CFU/mL)

	Days	Salt Concentration (%)					F-value
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Lactic acid bacteria	0	3.65±0.08 ^{ah1)2)}	3.59±0.04 ^{bH}	3.53±0.05 ^{cH}	3.43±0.09 ^{dH}	3.36±0.12 ^{eH}	64.37 ^{***3)}
	1	7.82±0.04 ^{aG}	7.68±0.03 ^{bF}	6.67±0.07 ^{cG}	6.35±0.11 ^{dG}	6.10±0.11 ^{eG}	2,891.84 ^{***}
	2	8.89±0.03 ^{aB}	8.85±0.04 ^{bA}	8.54±0.04 ^{cA}	8.14±0.07 ^{dA}	7.94±0.03 ^{eA}	2,911.01 ^{***}
	3	8.99±0.04 ^{aA}	8.44±0.11 ^{bB}	8.21±0.08 ^B	8.07±0.05 ^{dB}	7.91±0.06 ^{dB}	963.63 ^{***}
	4	8.49±0.02 ^{aC}	8.23±0.03 ^{bC}	7.75±0.06 ^{cC}	7.73±0.07 ^{cC}	7.72±0.09 ^{cC}	991.95 ^{***}
	5	8.41±0.13 ^{aD}	7.92±0.03 ^{bD}	7.46±0.04 ^{eE}	7.44±0.03 ^{cdD}	7.42±0.02 ^{dD}	1,371.83 ^{***}
	6	8.14±0.09 ^{aE}	7.81±0.05 ^{bE}	7.46±0.05 ^{cD}	7.35±0.04 ^{dE}	7.27±0.06 ^{eE}	1,170.09 ^{***}
	7	8.05±0.05 ^{aF}	7.40±0.04 ^{bG}	6.81±0.06 ^{cF}	6.74±0.07 ^{dF}	6.65±0.07 ^{eF}	3,021.30 ^{***}
	F-value	18,530.71 ^{***}	29,241.25 ^{***}	22,225.04 ^{***}	13,878.42 ^{***}	11,633.52 ^{***}	
Yeast	0	5.64±0.04 ^{aH}	5.45±0.07 ^{bcG}	5.43±0.07 ^{cG}	5.47±0.08 ^{bH}	5.47±0.06 ^{bH}	50.80 ^{***}
	1	7.81±0.04 ^{aG}	7.73±0.03 ^{bE}	6.89±0.05 ^{cE}	6.89±0.03 ^{cF}	6.10±0.11 ^{dG}	3,922.65 ^{***}
	2	8.89±0.02 ^{aB}	8.82±0.03 ^{bA}	8.49±0.06 ^{cA}	8.13±0.08 ^{dA}	7.97±0.04 ^{eA}	1,842.90 ^{***}
	3	8.96±0.04 ^{aA}	8.42±0.07 ^{bB}	8.19±0.08 ^B	8.03±0.05 ^{dB}	7.89±0.10 ^B	1,061.44 ^{***}
	4	8.46±0.02 ^{aC}	8.19±0.03 ^{bC}	7.70±0.05 ^{cC}	7.69±0.06 ^{cC}	7.68±0.06 ^{cC}	1,617.46 ^{***}
	5	8.37±0.15 ^{aD}	7.89±0.04 ^{bD}	7.43±0.03 ^{dD}	7.37±0.10 ^{dD}	7.34±0.10 ^{dD}	675.53 ^{***}
	6	8.12±0.08 ^{aE}	7.74±0.13 ^{bE}	7.46±0.07 ^{cD}	7.29±0.06 ^{dE}	7.26±0.06 ^{dE}	569.41 ^{***}
	7	7.99±0.03 ^{aF}	7.34±0.02 ^{bF}	6.74±0.04 ^{cF}	6.66±0.05 ^{dG}	6.56±0.06 ^{eF}	6,822.95 ^{***}
	F-value	7,690.78 ^{***}	7,285.63 ^{***}	7,826.57 ^{***}	5,265.39 ^{***}	4,093.04 ^{***}	
Coliform group	0	5.02±0.10 ^{aD}	4.61±0.09 ^{bD}	4.50±0.07 ^{cC}	4.49±0.07 ^{cC}	4.43±0.08 ^{dB}	239.45 ^{***}
	1	6.46±0.10 ^{aA}	6.28±0.06 ^{bA}	5.97±0.04 ^{cA}	5.54±0.09 ^{dA}	5.24±0.10 ^{eA}	1,119.34 ^{***}
	2	6.33±0.05 ^{aB}	6.09±0.06 ^{bB}	5.10±0.04 ^{cB}	4.72±0.06 ^{dB}	4.29±0.08 ^{cC}	6,433.28 ^{***}
	3	5.26±0.12 ^{bC}	5.39±0.06 ^{aC}	4.06±0.10 ^{cdD}	4.08±0.09 ^{cD}	4.01±0.07 ^{dD}	1,712.42 ^{***}
	4	0.28±0.49 ^{aE}	0.25±0.44 ^{aE}	ND ⁴⁾	ND	ND	7.15 ^{***}
	5	ND	ND	ND	ND	ND	-
	6	ND	ND	ND	ND	ND	-
	7	ND	ND	ND	ND	ND	-
	F-value	9,519.71 ^{***}	11,829.22 ^{***}	91,472.60 ^{***}	58,021.61 ^{***}	47,240.33 ^{***}	

¹⁾Mean±SD

²⁾Different letters in the same row (a-c) and column (A-H) are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

³⁾***p<0.001.

⁴⁾Not detected.

log CFU/mL 이상을 유지하였다(p<0.001). Yang et al. (2019)의 *Leuconostoc mesenteroides*와 *Lactobacillus plantarum* 을 첨가한 Chinese northeast sauerkraut 연구에서 효모는 발효 5일에 7.04-7.95 log CFU/mL로 가장 높게 측정되었는데 본 연구의 Sauerkraut 효모가 더 높게 측정되고 빠르게 증가하였음을 알 수 있다. 효모는 김치 발효에서 알코올 및 방향성 화합물을 생성시켜 식품에 풍미를 부여하고 비타민 C 합성에도 관여한다고 알려져 있다(Kang et al. 2019). 또한 효모는 발효 0일에 유산균보다 높게 나타났지만 발효 1일 이후 유산균과 비슷한 경향으로 감소하였음을 알 수 있다. Kang et al. (2019)의 김치 발효에 관여하는 효모의 역할 연구에 따르면 효모는 유산균이 감소하는 적숙기 이후부터 증가하는 것으로 나타났지만 그에 대한 정확한 기작은 아직 밝

혀지지 않아 Sauerkraut 발효과정 중 효모의 역할에 대한 추가적인 연구가 필요해 보인다.

대장균군은 발효 3일을 제외한 기간에서 소금 농도가 높을수록 유의적으로 낮게 나타나(p<0.001) Yang et al. (2020)의 Chinese northeast sauerkraut 연구 결과와 유사하였다. 이는 발효 초기에 소금 농도가 낮을수록 높게 측정된 유산균에 의해 생성된 항균성 생물 활성제인 박테리옌과 phenyllactic acid에 의해 대장균군이 억제되는 것으로 보고되었다(Tamang et al. 2016). 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 발효 1일에 대장균군 5.02, 4.61, 4.50, 4.49, 4.43 log CFU/mL로 가장 높게 측정된 후 감소하여 0.5와 1.0%의 Sauerkraut는 발효 5일 이후, 1.5, 2.0와 2.5%는 발효 4일 이후에 검출되지 않았다(p<0.001). 따라서 대장균군은 발효 초기에 높게

나타났지만 유산균 및 효모가 발효 2일에 7-9 log CFU/mL로 증가하여 발효 5일 이후에 모든 Sauerkraut에서 검출되지 않았음을 알 수 있다.

5. 분리 균주의 특성 및 동정

1) 분리 균주의 특성

소금 농도를 달리하여 제조한 Sauerkraut의 발효기간에 따른 품질 특성을 측정된 결과, 발효 4일째의 Sauerkraut가 최적 총 산도인 0.4-0.75%에 포함되면서 대장균군이 1.0 log CFU/mL 미만으로 섭취가 가능하여 가장 적숙기라 판단하였다. 이때의 Sauerkraut에서 유산균을 배양하여 유백색의 colony를 형성하는 10개의 colony를 선별한 후 높은 활성을 보여주는 4개의 colony를 순수분리하였고, 이를 S1, S2, S4, S6로 명명하였다. 분리한 유산균 colony를 관찰한 형태, catalase test 및 탄수화물 이용성의 결과를 <Table 5>와 <Table 6>에 나타내었다. S1과 S6는 간균 형태이며, S2와 S4는 구균 형태로 관찰되었다. S1, S2, S4, S6 모두 그람 양성균이며, catalase

<Table 5> Physiological characteristics of the isolated strains of Sauerkraut on the 4th day of fermentation

	Colony			
	S1	S2	S4	S6
Cell type	rod	spherical	spherical	rod
Gram stain	+ ¹⁾	+	+	+
Catalase test	-	-	-	-

¹⁾+, positive reaction; -, negative reaction

test 결과 O₂ 발생을 하지 않는 catalase 음성균이다. S1은 탄수화물 15종, S2는 탄수화물 30종, S4는 탄수화물 22종, S6는 탄수화물 17종에 대해 당대사능을 나타냈으며, S1, S2, S4, S6 모두 D-Galactose, D-Glucose, D-Fructose, Maltose, Melibiose, Sucrose와 반응하여 양성을 나타내었다. Chang et al. (2011)의 국내 시판 김치의 미생물 균총 변화 연구에서 양배추에 존재하는 그람음성균들은 발효에 거의 영향을 미치지

<Table 6> Carbohydrate utilization of the isolated strains of Sauerkraut on the 4th day of fermentation

Carbohydrate	Colony				Carbohydrate	Colony			
	S1	S2	S4	S6		S1	S2	S4	S6
Control	- ¹⁾	-	-	-	Esculin	+	+	+	-
Glycerol	-	+	-	-	Salicin	+	+	+	-
Erythritol	-	-	-	-	Cellobiose	+	+	+	-
D-Arabinose	-	+	-	-	Maltose	+	+	+	+
L-Arabinose	-	+	+	+	Lactose	+	+	-	+
Ribose	+	+	-	+	Melibiose	+	+	+	+
D-Xylose	-	+	+	+	Sucrose	+	+	+	+
L-Xylose	-	-	-	-	Trehalose	-	+	+	-
Adonitol	-	-	-	-	Inulin	-	+	-	-
Methyl-βD-xylopyranoside	-	-	-	-	Melezitose	-	-	-	+
D-Galactose	+	+	+	+	Raffinose	-	+	+	+
D-Glucose	+	+	+	+	Starch	-	+	-	-
D-Fructose	+	+	+	+	Glycogen	-	-	-	-
D-Mannose	+	+	+	-	Xylitol	-	-	-	-
L-Sorbose	-	-	-	-	Gentiobiose	+	+	+	-
Rhamnose	-	-	-	-	D-Turanose	-	-	+	-
Dulcitol	-	-	-	-	D-Lyxose	-	-	-	-
Inositol	-	-	-	-	D-Tagatose	-	+	-	-
Mannitol	-	+	+	-	D-Fucose	-	-	-	-
Sorbitol	-	+	-	-	L-Fucose	-	-	-	-
α-Methyl-D-mannoside	-	+	-	-	D-Arabitol	-	-	-	+
α-Methyl-D-glucoside	-	+	+	+	L-Arabitol	-	-	-	+
N-Acetyl-glucosamine	+	+	+	-	Gluconate	-	+	+	+
Amygdalin	-	+	+	-	2-Keto-gluconate	-	-	-	-
Arbutin	+	+	+	-	5-Keto-gluconate	-	-	-	+

¹⁾+, positive reaction; -, negative reaction

<Table 7> Identification of isolated strains of Sauerkraut on the 4th day of fermentation

Accession No.	Species Name	Strain Code	Identities (%)
LC096236.1	<i>Weissella cibaria</i>	JCM 12495	99
NR_040955.1	<i>Lactococcus lactis</i>	NCDO 604	100
LC096222.1	<i>Leuconostoc citreum</i>	JCM 9698	99
NR_042443.1	<i>Lactobacillus sakei</i>	DSM 20017	99

<Table 8> Acceptance test of Sauerkraut by salt concentration on the 4th day of fermentation

Sensory Attributes	Salt Concentration (%)					F-value
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Appearance	3.67±1.14 ^{a1)2)}	3.37±0.87 ^{ab}	3.29±0.98 ^{ab}	2.88±1.20 ^b	2.91±0.75 ^b	3.40 ^{*3)}
Odor	4.22±0.64 ^a	3.83±1.03 ^{ab}	3.63±0.93 ^b	3.73±0.79 ^b	3.45±0.92 ^b	3.35 [*]
Taste	4.32±0.74 ^a	4.27±0.71 ^a	4.05±0.98 ^a	3.84±1.10 ^{ab}	3.53±1.16 ^b	3.63 ^{**}
Texture	4.68±0.59 ^a	4.70±0.74 ^a	4.61±0.74 ^{ab}	4.26±0.67 ^b	4.29±0.64 ^b	3.19 [*]
Overall acceptance	3.66±1.27 ^{ab}	4.04±1.32 ^a	4.19±1.26 ^a	3.59±0.89 ^{ab}	3.26±1.26 ^b	2.90 [*]

¹⁾Mean±SD

²⁾Different letters in the same row (a-b) are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

³⁾*p<0.05, **p<0.01

성균으로 발효에 영향을 미쳤다고 판단된다.

2) 분리 균주의 동정

분리 균주의 종 수준까지의 정확한 동정을 위하여 16S rRNA gene 분석을 실시하였고, 도출된 염기서열을 NCBI blast의 database를 이용하여 유전학적 동정을 실시한 결과를 <Table 7>에 나타내었다. 동정 결과 S1은 *Weissella cibaria* JCM 12495, S2는 *Lactococcus lactis* NCDO 604, S4는 *Leuconostoc citreum* JCM 9698, S6는 *Lactobacillus sakei* DSM 20017로 판명되었다. 4개의 균주 모두 99% 이상의 상동성을 나타내었다. 지금까지 Sauerkraut에서 발견된 *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc citreum*과 *Lactobacillus sakei*는 본 연구에서 동정되어 외국의 Sauerkraut 유산균 군집과 유사하게 나왔음을 알 수 있다(Di Cagno & Coda 2014; Yang et al. 2020). 그러나 본 연구에서 추가로 동정된 *Weissella cibaria*는 외국의 Sauerkraut에서 발견되지 않아 국내산 양배추의 착생 미생물에 의해 새롭게 발견된 것으로 판단된다. 이 유산균은 발효 초기에 존재하며 주로 우리나라 김치(Silva et al. 2017)와 외국의 발효식품인 fermented peppers (González-Quijano et al. 2014)에서 발견된다. 또한 암 예방(Kwak et al. 2014), 면역조절(Ahn et al. 2013), 항염증(Yu et al. 2019), 항산화(Park et al. 2022), 프로바이오틱스 활성(Silva et al. 2017)을 가지는 것으로 알려져 있다. Jang(2014)의 연구에서 잘 익은 김치는 *Leuconostoc* 속과 *Weissella* 속에 의해 시원한 맛을 느낀다고 하였는데 본 연구의 Sauerkraut에서 발견된 두 가지 유산균 속 모두 시원한 맛에 기여한 것으로 판단된다.

6. 기호도 검사(acceptance test)

소금 농도를 달리하여 제조한 Sauerkraut의 발효기간에 따른 품질 특성을 측정된 결과, 발효 4일째의 Sauerkraut가 최적 총 산도인 0.4-0.75%에 포함되면서 대장균군이 1.0 log CFU/mL 미만으로 섭취가 가능하여 가장 적숙기라 판단하였다. 이때의 Sauerkraut 기호도 검사 결과를 <Table 8>에 나타내었다. 외관(appearance), 냄새(odor), 맛(taste), 조직감(texture), 전반적인 기호도(overall acceptance)는 시료 간에 유의적인 차이가 나타났다. 외관에 대한 기호도는 0.5%의 Sauerkraut가 3.67점으로 가장 높았고, 2.0와 2.5%의 Sauerkraut가 각각 2.88점과 2.91점으로 가장 낮았다(p<0.05). 냄새에 대한 기호도는 0.5%의 Sauerkraut가 4.22점으로 가장 높았고, 1.5, 2.0와 2.5%의 Sauerkraut가 각각 3.63점, 3.73점과 3.45점으로 가장 낮았다(p<0.05). 맛에 대한 기호도는 0.5, 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 각각 4.32점, 4.27점과 4.05점으로 가장 높았고, 2.5%의 Sauerkraut가 3.53점으로 가장 낮았다(p<0.01). 조직감에 대한 기호도는 0.5와 1.0%의 Sauerkraut가 각각 4.68점과 4.70점으로 가장 높았고, 2.0와 2.5%의 Sauerkraut가 각각 4.26점과 4.29점으로 가장 낮았다(p<0.05). 전반적인 기호도는 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 각각 4.04점과 4.19점으로 가장 높았고, 2.5%의 Sauerkraut가 3.26점으로 가장 낮았다(p<0.05). 따라서 기호도 검사 결과를 종합하였을 때 각 항목에서 0.5, 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 높은 점수를 받았으며, 그중 1.0와 1.5% Sauerkraut의 기호도가 높다고 판단된다. Yang et al. (2019)의 *Leuconostoc mesenteroides*와 *Lactobacillus plantarum*을 첨가한 Chinese northeast sauerkraut 연구에서 색, 냄새, 맛, 식감, 전반적인 기호도 모두 소금 농도가 낮을수록 기호도가 높아 본 연구 결과와 일치하였다. 또한 Kim & Lee(2019)의 저염 오이지

연구에서 1.0과 5.0% 오이지의 기호도가 가장 낮고 2.0, 3.0과 4.0% 오이지의 기호도가 높게 나와 짠맛이 기호도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 국내산 양배추에 0.5, 1.0, 1.5, 2.0와 2.5% (w/w)의 천일염을 첨가하여 제조한 Sauerkraut의 소금 농도 및 발효기간에 따른 품질 특성과 미생물 군집을 조사하였다. 연구 결과, 발효 4일째 1.0와 1.5%의 Sauerkraut는 pH 4.08, 4.09로 독일의 Sauerkraut 제조 규격인 pH 4.1 이하에 부합하였고, 발효 4일째 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 총 산도 0.75, 0.73, 0.69, 0.59, 0.48%로 김치의 최적 총 산도인 0.4-0.75%에 포함되었다. 염도는 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 발효 4일에 0.84, 1.21, 1.57, 1.94, 2.31%로 독일의 Sauerkraut 제조 규격인 염도 0.7-3.0%에 부합하였고, 우리나라 배추김치의 평균 염도인 2.17-2.65%보다 낮았다. 색도 측정 결과, 본 연구의 발효 4일째 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 L값 73.34, 72.88, 72.47, 72.51, 72.46, b값 10.37, 10.44, 10.64, 10.74, 10.84로 소금의 농도가 낮을수록 명도가 높고($p < 0.001$) 황색도가 낮아($p < 0.001$) 어두워지지 않고 녹색으로 변하지 않았다. 발효 4일째 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 경도 3.52, 3.51, 3.37, 3.29, 3.31 kgf로 소금의 농도가 낮을수록 경도가 높아($p < 0.001$) 식감이 물러지지 않았다. 발효 2일째 0.5-2.5%의 Sauerkraut는 유산균 8.89, 8.85, 8.54, 8.14, 7.94 log CFU/mL로 소금의 농도가 낮을수록 유산균이 높고($p < 0.001$), 김치의 유산균보다 높게 측정되었다. 대장균군은 0.5-2.5%의 Sauerkraut가 발효 4일에 1.0 log CFU/mL 미만으로 측정된 이후 사멸하였다. 이에 품질 특성이 우수하고 적숙기라 판단된 4일째 Sauerkraut에서 *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc citreum*, *Lactobacillus sakei* 외에 국내산 Sauerkraut에서만 발견된 *Weissella cibaria*가 동정되었는데 이 유산균은 국내산 양배추의 착생 미생물에 의해 새롭게 발견된 것으로 판단된다. 기호도 검사 결과, 전반적인 기호도 항목에서 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 유의적으로 높게 나왔다($p < 0.05$). 따라서 본 연구 결과의 미생물 및 이화학적 품질 특성과 기호도 검사 결과를 고려할 때, 소금 농도 1.0와 1.5%의 Sauerkraut가 다른 시료에 비해 유산균도 풍부하고 관능적인 면에서도 우수한 것으로 나타나 향후 저염 Sauerkraut의 생산으로 소금 섭취를 감소할 수 있을 것이라 판단되며, 우리나라 Sauerkraut 연구의 기초자료로 제공하는데 의미가 있을 것으로 사료된다. 그러나 향후 Sauerkraut의 효모 군집에 대한 조사, 휘발성 냄새성분 및 항산화 분석 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각되며, 우리나라 입맛에 맞도록 향신료 등을 첨가하는 등 Sauerkraut의 관능적 특성을 향상시키기 위한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

저자정보

지혜인(덕성여자대학교 식품영양학과, 석사과정 대학원생, 0000-0003-0314-2138)

김경희(덕성여자대학교 식품영양학과, 교수, 0000-0002-1593-176X)

감사의 글

This work was supported by grants from Duksung Women's University Research 2020.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Ahn SB, Park HE, Lee SM, Kim SY, Shon MY, Lee WK. 2013. Characteristics and immuno-modulatory effects of *Weissella cibaria* JW15 isolated from Kimchi, Korea traditional fermented food, for probiotic use. *J. Biomed. Res.*, 14(4):206-211
- Chang JY, Choi YR, Chang HC. 2011. Change in the microbial profiles of commercial Kimchi during fermentation. *Korean J. Food Preserv.*, 18(5):786-794
- Cho SK, Shin SY, Lee SJ, Li L, Moon JS, Kim DJ, Han NS. 2015. Simple synthesis of isomaltooligosaccharides during sauerkraut fermentation by addition of *Leuconostoc* starter and sugars. *Food Sci. Biotechnol.*, 24(4):1443-1446
- Di Cagno R, Coda R. 2014. In encyclopedia of food microbiology: Fermented foods: Fermented vegetable products. Elsevier Academic Press, USA, pp 875-883
- Fadhil R, Hayati R, Agustina R. 2019. Quality characteristics of sauerkraut from cabbage (*Brassica oleracea*) during fermentation and variation of salt concentration. *Int. J. Sci. Technol. Res.*, 8(10):2906-2909
- Gnanasekharan V, Shewfelt RL, Chinnan MS. 1992. Detection of color changes in green vegetables. *J. Food Sci.*, 57(1):149-154
- González-Quijano GK, Dorantes-Alvarez L, Hernández-Sánchez H, Jaramillo-Flores ME, de Jesús Perea-Flores M, Vera-Ponce de León A, Hernández-Rodríguez C. 2014. Halotolerance and survival kinetics of lactic acid bacteria isolated from jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) fermentation. *J. Food Sci.*, 79(8):M1545-M1553
- Hallmann E, Kazimierzczak R, Marszałek K, Drela N, Kiernozek E, Toomik P, Rembiałkowska E. 2017. The nutritive value of organic and conventional white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) and anti-apoptotic activity in gastric adenocarcinoma cells of sauerkraut juice produced thereof. *J. Agric. Food Chem.*, 65(37):8171-8183

- Jang HC. 2014. Starter application technology of kimchi fermentation. *Food Preserv. Process. Ind.*, 13(2):41-47
- Jeong DH. 1999. *Food microbiology*. Sun-Jin Press, Korea, pp 373-406
- Johanningsmeier S, McFeeters RF, Fleming HP, Thompson RL. 2007. Effects of *Leuconostoc mesenteroides* starter culture on fermentation of cabbage with reduced salt concentrations. *J. Food Sci.*, 72(5):M166-M172
- Kang KO, Kim WJ, Lim HS. 1997. Effect of temperature and NaCl concentration on the characteristics of *Baik Kimchi*. *Korean J. Soc. Food Sci.*, 13(5):569-577
- Kang SE, Kim MJ, Kim TW. 2019. Diversity and role of yeast on Kimchi fermentation. *J. Korean Soc. Food Cult.*, 34(2):201-207
- Kim CH, Yang YH, Lee KJ, Park WS, Kim MR. 2005. Quality characteristics of pickled cucumber prepared with dry salting methods during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 34(5):721-728
- Kim HW, Jang JJ, Kim NH, Lee NY, Cho TJ, Kim SH, Rhee MS. 2018. Factors that determine the microbiological quality of ready-to-use salted napa cabbage (*Brassica pekinensis*): Season and distribution temperature. *Food Control*, 87:1-8
- Kim KJ, Lee KH. 2019. Optimization of salt concentration in low-salted *Oiji* (traditional Korean cucumber pickle). *J. East Asian Soc. Diet. Life*, 29(1):19-26
- Kim SY, Yoo KS, Kim YJ, Seo EY, Kim BS, Han NS. 2011. Monitoring of *Leuconostoc* population during sauerkraut fermentation by quantitative real-time polymerase chain reaction. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 21(10):1069-1072
- Kusznierewicz B, Lewandowska J, Kruszyna A, Piasek A, Śmiechowska A, Namieśnik J, Bartoszek A. 2010. The antioxidative properties of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*) fresh and submitted to culinary processing. *J. Food Biochem.*, 34:262-285
- Kwak SH, Cho YM, Noh GM, Om AS. 2014. Cancer preventive potential of kimchi lactic acid bacteria (*Weissella cibaria*, *Lactobacillus plantarum*). *J. Cancer Prev.*, 19(4):253
- Lavefve L, Marasini D, Carbonero F. 2019. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Adv. Food Nutr. Res.*, 87:147-185
- Lee YH, Rhee HS. 1996. The changes of pectic substances during the fermentation of kimchis. *Korean J. Soc. Food Sci.*, 2(1):54-58
- Lee YH, Yang IW. 1970. Studies on the packaging and preservation of kimchi. *Appl. Biol. Chem.*, 13(3):207-218
- Majcherczyk J, Surówka K. 2019. Effects of onion or caraway on the formation of biogenic amines during sauerkraut fermentation and refrigerated storage. *Food Chem.*, 298:125083
- Mheen TI, Kwon TW. 1984. Effect of temperature and salt concentration on kimchi fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 16(4):443-450
- Mishra S, Patel M. 2020. Role of nutrition on immune system during COVID-19 pandemic. *J. Food Nutr. Health*, 3(2):1-6
- Montaño A, Sánchez AH, Beato VM, López-López A, de Castro A. 2016. *Encyclopedia of Food and Health: Pickling*. Elsevier Academic Press, USA, 369-374
- Monteiro P. 2020. Influence of partial substitution of sodium chloride by potassium chloride in cabbage fermentation. *Bol. Cent. de Pesqui. de Process. de Aliment.*, 36(2):1-10
- Moon EW, Kim SY, Dang YM, Park BY, Park EJ, Song HY, Yang JS, Yoon SR, Seo HY, Ha JH. 2019. Comparison of Microbial and Physicochemical Properties between Pogi Kimchi and Mat Kimchi. *J. Korean Soc. Food Cult.*, 34(2):217-223
- Moon SW, Park SH, Kang BS, Lee MK. 2014. Fermentation characteristics of low-salt kimchi with starters on fermentation temperature and salt concentration. *Korean J. Food & Nutr.*, 27(5):785-795
- Nam DG, Kim SN, Choi YM, Kim YS, Yang MR, Han HK, Choi AJ. 2017. Change of quality characteristics of commercial and prepared kimchi depending on fermentation. *Korean J. Food Cook. Sci.*, 33(2):62-173
- Park BH, Choi SH, Cho HS, Kim SD, Jeon ER. 2010. Quality changes in *Baik-Kimchi* (pickled cabbage) added lotus root juice during fermentation. *Korean J. Food Preserv.*, 17(3):320-327
- Park HJ, Lee MY, Yoon EK, Chung HY. 2016a. Sodium reduction in traditional fermented foods. *Food Sci. Ind.*, 49(2):34-44
- Park S, Ji Y, Park H, Lee K, Park H, Beck BR, Shin H, Holzapfel WH. 2016b. Evaluation of functional properties of *Lactobacilli* isolated from Korean white kimchi. *Food Control*, 69:5-12
- Park S, Saravanakumar K, Sathiyaseelan A, Park S, Hu X, Wang MH. 2022. Cellular antioxidant properties of nontoxic exopolysaccharide extracted from Lactobacillales (*Weissella cibaria*) isolated from Korean kimchi. *LWT-Food Sci. Technol.*, 112727
- Romeo L, Lori R, Rollin P, Bramanti P, Mazzon E. 2018. Isothiocyanates: An overview of their antimicrobial activity against human infections. *Molecules*, 23(3):624
- Satora P, Skotniczny M, Strnad S, Piechowicz W. 2021. Chemical composition and sensory quality of sauerkraut produced from different cabbage varieties. *LWT-Food Sci. Technol.*, 136:11032
- Shin DH. 2020. Korean traditional fermented foods and their future approach. *Food Sci. Ind.*, 53(2):148-165
- Silva MS, Ramos CL, González-Avila M, Gschaedler A, Arrizon J, Schwan RF, Dias DR. 2017. Probiotic properties of *Weissella cibaria* and *Leuconostoc citreum* isolated from tejuino-A typical Mexican beverage. *LWT-Food Sci. Technol.*, 86:227-232
- Srihardyastuti A, Prasetyawan S, Firdaus RZ, Prayugo FB, Kresmonia Y, Ananda TD, Salamah A. 2021. The Effect

- of NaCl concentration and incubation time on oxalate and total acid in fermented cabbage using various microorganisms. *J. Pure Appl. Chem. Res.*, 10(1):27-36
- Tamang JP, Shin DH, Jung SJ, Chae SW. 2016. Functional properties of microorganisms in fermented foods. *Front. Microbiol.*, 7:578
- Thakur P, Panja P, Kabir J, Dhua R. 2020. Studies on shelf life of sauerkraut. *J. Crop Weed*, 16(2):204-209
- World Health Organization. 2012. Guideline: Sodium intake for adults and children. WHO Press, Switzerland, pp 18-19
- Xiong T, Li J, Liang F, Wang Y, Guan Q, Xie M. 2016. Effects of salt concentration on Chinese sauerkraut fermentation. *LWT-Food Sci. Technol.*, 69:169-174
- Yang X, Hu W, Jiang A, Xiu Z, Ji Y, Guan Y, Yang X. 2019. Effect of salt concentration on quality of Chinese northeast sauerkraut fermented by *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum*. *Food Biosci.*, 30:100421
- Yang X, Hu W, Xiu Z, Jiang A, Yang X, Saren G, Feng K. 2020. Effect of salt concentration on microbial communities, physicochemical properties and metabolite profile during spontaneous fermentation of Chinese northeast sauerkraut. *J. Appl. Microbiol.*, 129(6):1458-1471
- Yang YH, Park SH, Ann SM, Kim KM, Kim MR. 2005. Physicochemical and sensory characteristics of *Mul-Kimchi* (watery Kimchi) prepared with red cabbage. *J. East Asian Soc. Diet. Life*, 15(5):574-581
- Yu HS, Lee NK, Choi AJ, Choe JS, Bae CH, Paik HD. 2019. Anti-inflammatory potential of probiotic strain *Weissella cibaria* JW15 isolated from kimchi through regulation of NF- κ B and MAPKs pathways in LPS-induced RAW 264.7 cells. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 29(7):1022-1032
- Zubaidah E, Susanti I, Yuwono SS. 2020a. The combined impact of sauerkraut with *Leuconostoc mesenteroides* to enhance immunomodulatory activity in *Escherichia coli*-infected mice. *Eur. Food Res. Technol.*, 246:1889-1893
- Zubaidah E, Susanti I, Yuwono SS, Rahayu AP, Sriantha I, Blanc PJ. 2020b. Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc mesenteroides* starter cultures in lower salt concentration fermentation on the sauerkraut quality. *Food Res.*, 4(4):1038-1044
- National Institute of Agricultural Sciences. 2021. Food of the month - Cabbage. Available from: <http://koreanfood.rda.go.kr/kfi/foodMonth/view>, [accessed 2021.11.18]
- YouTube. 2020. Sauerkraut. Available from: https://www.youtube.com/results?search_query=%EC%82%AC%EC%9A%B0%EC%96%B4%ED%81%AC%EB%9D%BC%EC%9A%B0%ED%8A%B8&sp=CAM%253D, [accessed 2022.02.10]

Received January 12, 2022; revised February 11, 2022; revised February 23, 2022; accepted February 23, 2022